



SKRIPSI – ME 141501

**ANALISA MODIFIKASI SIRKULASI ALIRAN UDARA
PENDINGIN DI DALAM *COLD STORAGE***

Moch Qusyairi
NRP. 4211 100 025

Dosen Pembimbing
Sutopo Purwono Fitri, ST., M.Eng., Ph.D
Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc

JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2015



FINAL PROJECT – ME 141501

**AIR FLOW CIRCULATION INSIDE COLD STORAGE
MODIFICATION ANALYSIS**

Moch Qusyairi
NRP. 4211 100 025

Supervisor :
Sutopo Purwono Fitri, ST., M.Eng., Ph.D
Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc

DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING
Faculty of Marine Technology
Sepuluh Nopember Institut of Technology
Surabaya
2015

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA MODIFIKASI SIRKULASI ALIRAN UDARA PENDINGIN DI DALAM *COLD STORAGE*.

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Marine Machinery and System (MMS) Program
Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Moch Qusyairi
NRP 4211 100 025

Disetujui Oleh Pembimbing Skripsi :

1. Sutopo Purwono Fitri, ST., M.Eng., Ph.D.



2. Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc



SURABAYA
Juli 2015

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA MODIFIKASI SIRKULASI ALIRAN UDARA PENDINGIN DI DALAM *COLD STORAGE*.

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada

Bidang Studi Marine Machinery and System (MMS) Program
Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Moch Qusyairi

NRP 4211100 025

Disetujui Oleh Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan :

Ir. AA. Masroeri, M.Eng. D.Eng.



SURABAYA

Juli 2015

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ANALISA MODIFIKASI SIRKULASI ALIRAN UDARA PENDINGIN DI DALAM COLD STORAGE

Nama Mahasiswa : Moch Qusyairi
NRP : 4211 100 025
Dosen Pembimbing 1 : Sutopo Purwono F, ST., M.Eng., Ph.D
Dosen Pembimbing 2 : Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc

ABSTRAK

Lamanya pelayaran kapal mengharuskan adanya sistem pendingin pada ruang muat kapal pengangkut muatan yang mudah rusak/ busuk (*reefer vessel/ reefer ship*). Muatan hortikultura atau bahan makan dan daging merupakan salah satu muatan yang harus dijaga kesegarannya dengan cara mendinginkannya di dalam *cold storage*. Kebanyakan *cold storage* menggunakan sebuah *evaporator* yang langsung mengarah pada muatan didalam *cold storage*, namun sirkulasi pendinginan yang dihasilkan kurang merata. Muatan yang berada tepat dibawah atau didekat *evaporator* akan mendapatkan pendinginan paling sedikit sehingga suhunya paling tinggi, sedangkan sebaliknya pada area paling jauh akan mendapatkan suplai pendinginan yang baik. Untuk menjawab permasalahan ini maka direncanakan modifikasi pada sirkulasi aliran udara pendingin pada *cold storage*.

Tujuan dalam skripsi ini adalah untuk membuat desain modifikasi *air flow circulation didalam cold storage* dan untuk mengetahui distribusi aliran pendinginan yang paling optimal untuk muatan didalam *cold storage* dengan melakukan percobaan. Modifikasi yang dilakukan berupa penambahan *ducting* untuk mengubah arah sirkulasi aliran udara pendingin. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan *thermocouple* sebagai sensor suhu dan *data logger labjack T7-Pro* untuk membaca data *analog* yang dikirimkan oleh *thermocouple* dan mengubahnya menjadi data *digital*. Data yang dihasilkan

kemudian diolah dan dibandingkan untuk menentukan metode pendinginan yang paling efektif.

Dari percobaan didapatkan hasil berupa distribusi suhu dan waktu yang dibutuhkan untuk mencapainya. Penyebaran suhu secara merata didalam *cold storage* dengan menggunakan modifikasi *barrier bulkhead* bisa dicapai dalam waktu sekitar 5.19 jam, sedangkan jika tanpa modifikasi hanya sekitar 2.63 jam saja. Sehingga dapat disimpulkan bahwa distribusi penyebaran suhu secara merata di dalam *cold storage* pada *workshop* lab MMS dengan dimensi 1 x 1.25 x 2.3 meter lebih efektif dihasilkan oleh kondisi pendinginan tanpa menggunakan modifikasi.

Kata Kunci: *Cold Storage, Air Flow Circulation, Modifikasi, Thermocouple.*

AIR FLOW CIRCULATION INSIDE COLD STORAGE MODIFICATION ANALYSIS

Student Name : Moch Qusyairi
NRP : 4211 100 025
Lecturer 1 : Sutopo Purwono F, ST., M.Eng., Ph.D
Lecturer 2 : Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc

ABSTRACT

The duration of shipping requires the cooling system on the cargo hold which carrying perishable cargo / rot cargo (reefer vessel/ reefer ship). Horticulture or food ingredients and meat is one of the cargo that must be maintained by cooled inside cold storage. Most cold storage using an evaporator which directly led to the cargo in cold storage, but the circulation of cooling resulting is iregular. The cargo which is right under or near the evaporator will get a bad supply of cooling and it's create the highest suhu area, while conversely in the most remote areas will get a good supply of cooling. To resolve this problem, the plan is to modify the circulation of cooling air flow in the cold storage.

The purpose of this paper is to make an air flow circulation design modifications within the cold storage and to know the most optimal cooling flow distribution to the cargo in cold storage by experimenting. The modifications are additional ducting to change the direction of cooling air flow circulation. Collecting data taken by performed by using thermocouple as a suhu sensor and data logger Labjack T7-Pro to read analog data transmitted by the thermocouple and converts it into digital data. The data is then processed and compared to determine the most effective cooling method.

From the experiment is obtained result of suhu distribution and time required to achieve it. Spread of suhu inside the cold storage using a modified of barrier bulkhead can be

reached in about 5:19 hours, whereas if no modification is only about 2.63 hours. So, the conclusion is the distribution of the spread suhu in cold storage at the Marine Machinery and System workshop laboratory (MMS) with dimensions of 1 x 2.3 meter x 1:25 more effective generated by the cooling conditions without using a modification.

Keywords: Cold Storage, Air Flow Circulation, modification, Thermocoupl

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT Tuhan semesta alam yang senantiasa melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya kepada penulis selama proses hingga terselesaikannya Tugas Akhir dengan judul “Analisa Modifikasi Sirkulasi Aliran Udara Pendingin Di Dalam *Cold Storage*”. Tugas akhir ini merupakan bagian dari persyaratan untuk menyelesaikan studi jenjang strata 1 (S1) pada jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dengan selesainya tugas akhir ini, penulis menyampaikan terimakasih yang sebesar- besarnya kepada:

1. Allah SWT yang telah menganugrahkan segala nikmat dalam diri penulis termasuk nikmat kesehatan jasmani maupun rohani.
2. Orang tua penulis, Moch Achyar dan Umi Kulsum yang tiada henti mendoakan dan memberikan dukungan.
3. Bapak Sutopo Purwono Fitri, ST., M.Eng., Ph.D dan Bapak Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc selaku dosen pembimbing yang selalu mengarahkan dan memberi motivasi.
4. Seluruh bapak dan ibu Dosen yang telah mengajarkan banyak hal selama kurang lebih 4 tahun di jurusan teknik sistem perkapalan.
5. Teman- teman seperjuangan di lab MMS dan teman- teman se- angkatan AMPIBI'11
6. Pihak lain yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
ABSTRAK	xvii
<i>ABSTRAC</i>	xix
BAB I.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Permasalahan.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	4
1.5 Manfaat.....	4
BAB II	5
2.1 Cold Storage	5
2.2 Metode Pendinginan pada Cold Storage	6
2.3 Metode Pendinginan pada <i>Reefer Container</i>	7

2.4 Penataan Muatan	9
2.5 <i>Thermocouple</i>	11
2.6 Rumus- Rumus yang Digunakan.....	12
BAB III.....	15
3.1 Identifikasi dan Perumusan Masalah.....	15
3.2 Studi Literatur	15
3.3 Studi Empiris.....	15
3.4 Pelaksanaan Percobaan dan Pengumpulan Data	17
3.5 Analisa Data Hasil Percobaan	18
3.6 Kesimpulan.....	18
3.7 <i>Flowchart</i> Metodologi Penelitian.....	19
BAB IV	21
4.1 Peralatan dan Bahan yang Digunakan	21
4.2 Perhitungan Kebutuhan <i>Air Flow Rate</i> Pada <i>Cold Storage</i>	28
4.3 Variasi Percobaan.....	29
4.4 Skema Pengambilan Data dan Variabel Dalam Percobaan	31

4.5 Hasil Modifikasi	32
4.6 Perhitungan <i>Pressure Loss</i>	35
4.6.1 <i>Barrier Bulkhead</i>	35
4.6.2 <i>Circular Ducting</i>	37
4.7 Prosedur Pengambilan Data	39
4.7.1 Mengatur <i>Air Flow Rate</i> Pada <i>Cold Storage</i>	39
4.7.2 Penataan Kargo Didalam <i>Cold Storage</i>	44
4.7.3 Penempatan <i>Thermocouple</i>	45
4.7.4 Penyetelan <i>Data Logger</i>	46
4.7.5 Kalibrasi <i>Thermocouple</i>	50
4.8 Pengambilan Data	52
4.8.1 Percobaan Tanpa Modifikasi	52
4.8.2 Percobaan dengan Modifikasi <i>Barrier Bulkhead</i>	53
4.8.3 Percobaan dengan Modifikasi <i>Circular Ducting</i>	55
4.9 Analisa dan Pembahasan	56
4.9.1 Hasil Percobaan	56
4.9.2 Analisa	63

BAB V.....	71
5.1 Kesimpulan.....	71
5.2 Saran.....	72
DAFTAR PUSTAKA.....	73
LAMPIRAN.....	75
Biodata Penulis	77

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Data kecepatan aliran udara pada <i>output</i> pipa.....	42
Tabel 4. 2 Data <i>flow rate</i> di setiap lubang pipa.....	43
Tabel 4. 3 <i>Sample</i> data hasil percobaan tanpa modifikasi.....	52
Tabel 4.4 <i>Sample</i> data percobaan modifikasi <i>barrier bulkhead</i> ..	54
Tabel 4. 5 <i>Sample</i> data percobaan modifikasi <i>circular ducting</i> ..	56
Tabel 4. 6 Data hasil modifikasi <i>barrier bulkhead</i>	64
Tabel 4. 7 Data percobaan tanpa modifikasi	64
Tabel 4. 8 Suhu <i>box</i> tanpa modifikasi	67
Tabel 4. 9 Suhu <i>box</i> dengan modifikasi	67
Tabel 4. 10 Data distribusi suhu pada percobaan ke- 3	69
Tabel 4. 11 Data suhu <i>box</i> pada percobaan ke-3	69

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 <i>Cold Storage</i>	1
Gambar 1. 2 Distribusi pendinginan didalam <i>cold storage</i>	2
Gambar 2.1 <i>Cold Sorage</i>	5
Gambar 2.2 <i>Contact Freezing</i>	6
Gambar 2.3 <i>Air Blast Freezing</i>	7
Gambar 2.4 <i>Reefer Container</i>	8
Gambar 2.5 <i>T- Bar Floor</i>	8
Gambar 2.6 Aliran udara pendingin pada <i>reefer container</i>	9
Gambar 2.7 Penataan Muatan Didalam <i>Cold Storage</i>	10
Gambar 2. 8 <i>Thermocouple</i>	11
Gambar 3.1 Konsep Desain <i>Circular Ducting</i>	16
Gambar 3.2 Konsep Desain <i>Barrier Bulkhead</i>	16
Gambar 3.3 <i>Flowchart</i> Percobaan.....	18
Gambar 4.1 <i>Cold Storage</i>	21
Gambar 4.2 Plat Aluminium	22
Gambar 4.3 Siku Aluminium	22
Gambar 4.4 <i>Hand Riveter</i>	23
Gambar 4.5 Mesin Bor	23

Gambar 4.6 Gergaji	24
Gambar 4.7 Gunting Plat.....	24
Gambar 4.8 Penggaris	24
Gambar 4.9 <i>Anemometer</i>	25
Gambar 4.10 <i>Thermocouple</i> Tipe K.....	25
Gambar 4.11 Pipa PVC	26
Gambar 4.12 <i>T Joint</i>	26
Gambar 4.13 <i>Elbow 90°</i>	26
Gambar 4.14 Lem PVC	27
Gambar 4.15 <i>Barrier Bulkhead</i>	29
Gambar 4.16 <i>Circular Ducting</i>	30
Gambar 4.17 Skema Pengambilan Data.....	31
Gambar 4.18 Modifikasi <i>Evaporator</i>	32
Gambar 4.19 Modifikasi <i>Barrier Bulkehead</i>	33
Gambar 4.20 Modifikasi <i>Circular Ducting</i>	34
Gambar 4.21 Modifikasi pada <i>evaporator</i>	39
Gambar 4. 22 Pengukuran dengan <i>anemometer</i>	40
Gambar 4. 23 Pengukuran kecepatan aliran	41
Gambar 4. 24 <i>Stowage</i> di dalam <i>cold storage</i>	44

Gambar 4. 25 Penempatan T/C didalam kardus dan buah	45
Gambar 4. 26 Skema penempatan T/C.....	46
Gambar 4. 27 Skema pengambilan data	47
Gambar 4. 28 <i>Data logger</i> dengan T/C.....	48
Gambar 4. 29 Pemilihan konektifitas.....	48
Gambar 4. 30 Notifikasi Koneksi.....	49
Gambar 4. 31 Pengaturan <i>analog input</i>	49
Gambar 4. 32 Pembacaan Suhu.....	50
Gambar 4. 33 Proses Kalibrasi T/C.....	51
Gambar 4. 34 Pembacaan suhu pada T/C.....	51
Gambar 4. 35 Grafik <i>sample</i> percobaan.....	53
Gambar 4. 36 Sample data pada percobaan dengan modifikasi <i>barrier bulkhead</i>	55
Gambar 4. 37 Grafik Hasil Percobaan Ke- 1.....	57
Gambar 4. 38 Grafik Hasil Percobaan Ke- 2.....	59
Gambar 4. 39 Grafik Hasil Percobaan Ke- 3.....	60
Gambar 4. 40 Posisi <i>thermocouple</i> di dalam <i>cold storage</i>	61

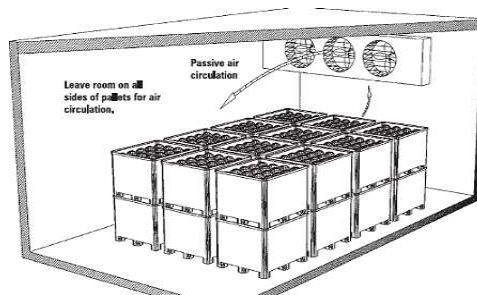
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini mesin pendingin untuk bahan makanan baik buah dan sayuran maupun daging merupakan salah satu kebutuhan utama dalam kehidupan sehari-hari. Sama halnya dengan mesin pendingin untuk kebutuhan rumah tangga, mesin pendingin juga sangat dibutuhkan di atas kapal. Perbedaannya adalah mesin pendingin untuk kebutuhan rumah tangga (kulkas) hanya digunakan untuk kapasitas kecil atau sedikit, sedangkan untuk kapal tentu membutuhkan kapasitas yang cukup besar atau biasa disebut *cold storage*.



Gambar 1. 1 *Cold Storage*

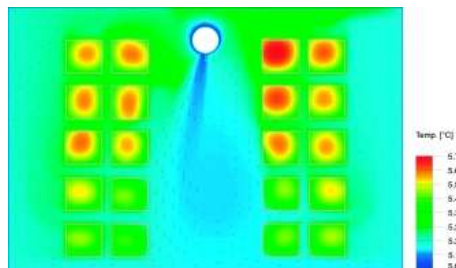
(Sumber: Kumar, Krishna, *Supply chain management of perishable materials (cauliflower) during monsoon season*, 2011)

Lamanya pelayaran kapal mengharuskan adanya sistem pendingin pada ruang muat kapal pengangkut muatan yang mudah rusak/ busuk atau biasa disebut dengan *reefer vessel/ reefer ship*. Muatan hortikultura atau bahan makan dan daging merupakan salah satu muatan yang harus dijaga kesegarannya dengan cara mendinginkannya. Muatan yang disimpan dalam palkah berpendingin dilakukan dengan tujuan untuk menjaga

kualitas muatan yang diangkut oleh kapal hingga sampai pada tujuan.

Kebanyakan *cold storage* menggunakan sebuah evaporator yang langsung mengarah pada muatan didalam *cold storage*. *Evaporator* diletakkan disalah satu sisi *cold storage* dengan posisi muatan berjajar dan tertata rapat. Kemudian dibagian tepi sekeliling muatan diberi ruang untuk sirkulasi udara pendingin.

Pendinginan dengan sebuah *evaporator* yang langsung dihadapkan pada susunan muatan pada *cold storage* dapat menghasilkan sirkulasi pendinginan yang kurang merata. Pada gambar 1.2 Dapat dilihat distribusi pendinginan didalam *cold storage* yang didapatkan melalui analisa dengan menggunakan *software CFD*. Muatan yang berada tepat dibawah atau didekat evaporator akan mendapatkan pendinginan paling sedikit sehingga suhunya paling tinggi, sedangkan sebaliknya pada area paling jauh akan mendapatkan suplai pendinginan yang baik.



Gambar 1. 2 Distribusi pendinginan didalam *cold storage*

(Sumber: http://www.fabricair.com/net/Documents/technical_articles/dragbaek.asp)

Pada percobaan ini akan dilakukan modifikasi dalam pendistribusian aliran udara pendingin didalam *cold storage*. Beberapa model pendistribusian yang akan diterapkan adalah dengan menggunakan sekat dan menggunakan pipa yang diberi beberapa lubang yang mengarah langsung pada muatan didalam

cold storage sehingga pendinginan akan lebih terfokus pada muatan. Selain itu dengan adanya modifikasi ini akan memungkinkan penambahan muatan karena sirkulasi aliran pendinginan yang lebih baik. Dengan pendinginan yang optimal, maka muatan akan terjaga kualitasnya dan dapat menghemat energi yang digunakan.

1.2 Rumusan Permasalahan

Dengan uraian diatas maka permasalahan utama yang akan dibahas adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana desain modifikasi *air flow circulation* didalam *cold storage*.
2. Bagaimana penyebaran suhu didalam *cold storage* setelah dilakukan modifikasi.

1.3 Batasan Masalah

1. Analisa ini hanya dilakukan untuk mengetahui penyebaran suhu didalam *cold storage* setelah dilakukan modifikasi.
2. Pengukuran suhu didalam *cold storage* pada percobaan ini dilakukan dengan menggunakan *thermocouple* dan diasumsikan bahwa pada muatan didalam *cold storage* telah mendapat perlakuan *pre-cooling*.
3. Percobaan dilakukan pada *cold storage* yang terdapat pada *workshop* Laboratorium Mesin Fluida ITS.
4. Analisa ekonomis terhadap alat tidak dilakukan.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan dari skripsi ini adalah:

1. Untuk membuat desain modifikasi *air flow circulation* didalam *cold storage*.
2. Untuk mengetahui distribusi aliran pendinginan yang paling optimal untuk muatan didalam *cold storage* dengan melakukan percobaan.

1.5 Manfaat

Manfaat yang dapat diperoleh dari penulisan skripsi adalah :

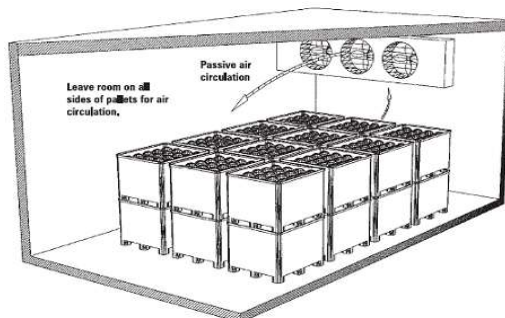
1. Mengetahui distribusi aliran udara pendingin didalam *cold storage*.
2. Memperoleh sirkulasi aliran udara pendingin yang lebih optimal didalam *cold storage*.
3. Dengan adanya pendinginan yang optimal, maka akan lebih menghemat energi yang digunakan untuk *cold storage*.
4. Meningkatkan kualitas muatan/ kargo didalam *cold storage* dengan distribusi suhu yang merata.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Cold Storage

Saat ini mesin pendingin untuk bahan makanan baik buah dan sayuran maupun daging merupakan salah satu kebutuhan utama dalam kehidupan sehari-hari. Sama halnya dengan mesin pendingin untuk kebutuhan rumah tangga, mesin pendingin juga sangat dibutuhkan di atas kapal. Perbedaannya adalah mesin pendingin untuk kebutuhan rumah tangga (kulkas) hanya digunakan untuk kapasitas kecil atau sedikit, sedangkan untuk kapal tentu membutuhkan kapasitas yang cukup besar atau biasa disebut *cold storage*.



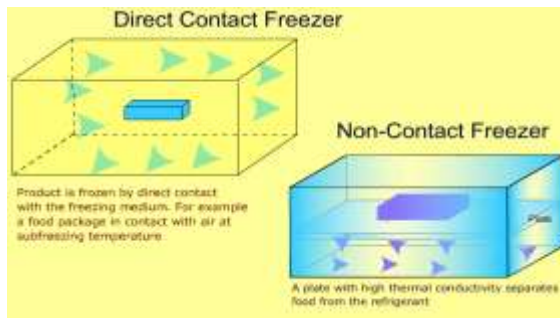
Gambar 2.1 *Cold Storage*

(Sumber: Kumar, Krishna, *Supply chain management of perishable materials (cauliflower) during monsoon season*, 2011)

Lamanya pelayaran kapal mengharuskan adanya sistem pendingin pada ruang muat kapal pengangkut muatan yang mudah rusak/ busuk atau biasa disebut dengan *reefer vessel/ reefer ship*. Muatan Hortikultura atau bahan makan dan daging merupakan salah satu muatan yang harus dijaga kesegarannya dengan cara mendinginkannya. Muatan yang disimpan dalam palkah berpendingin dilakukan dengan tujuan untuk menjaga kualitas muatan yang diangkut oleh kapal hingga sampai pada tujuan.

2.2 Metode Pendinginan pada Cold Storage

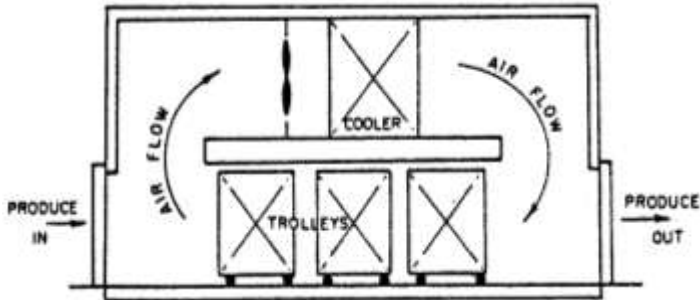
Ronald A Cole dalam papernya yang berjudul *cold storage warehouse* membagi metode pendinginan di dalam *cold storage* menjadi dua jenis yaitu *contact freezing* dan *air blast freezing*. *Contact freezing* merupakan cara pendinginan muatan dalam *cold storage* dengan menggunakan plat- plat (horisontal maupun vertikal). Sebuah evaporator yang terpasang dalam *cold storage* menghasilkan udara dingin yang dihembuskan langsung mengarah pada muatan didalam *cold storage*. Udara dingin yang dihembuskan ini akan melewati celah plat dan mendinginkan permukaan plat yang langsung menempel pada muatan dan kemudian mendinginkannya.



Gambar 2.2 Contact Freezing

Air blast freezing sedikit berbeda dengan *contact freezing*. Udara dingin yang dihembuskan oleh *evaporator* digunakan langsung untuk mendinginkan muatan dalam wadah. *Air blast freezing* terbagi atas dua jenis yaitu *batch type* dan *continuous type*. *Batch air blast freezing* sistemnya lebih sederhana dan hemat biaya jika dibandingkan dengan *continuous air blast freezing* karena pada *batch type* udara dari *evaporator* langsung dihembuskan begitu saja ke arah muatan dalam *cold storage*. *Batch air blast freezing* adalah model pendinginan pada muatan didalam *cold storage* yang terbungkus atau dalam kemasan. Pendinginan dengan cara ini banyak digunakan untuk ruangan *cold storage* yang tidak begitu besar.

Sedangkan pendinginan dengan cara *continuous air blast freezing* adalah model pendinginan secara terus menerus pada muatan. Pendinginan dilakukan dengan menggunakan sistem konveyor yang membawa muatan hingga melalui mesin pendingin. Pendinginan dengan cara ini dapat disebut juga dengan nama *spiral freezer*.



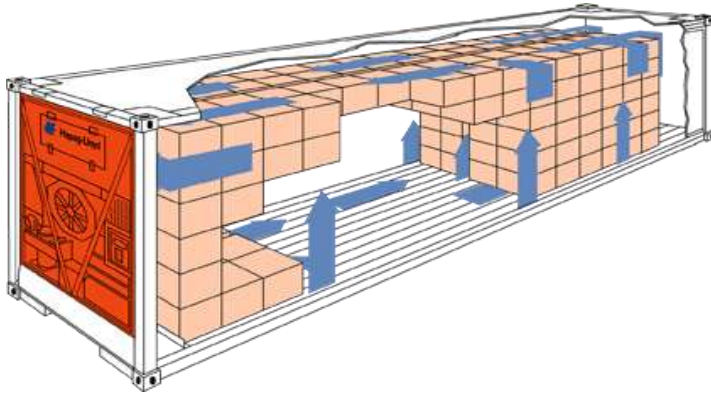
Gambar 2.3 Air Blast Freezing

Sylvester B (1983) melakukan analisa mengenai sirkulasi aliran udara pendingin didalam sebuah *cold storage*. Sistem pendingin pada *cold storage* yang dianalisis adalah sistem pendingin *batch air blast freezing*. Pada pendinginan dengan cara *air blast freezing*, udara dihembuskan dari sebuah *evaporator* dan langsung diarahkan ke muatan didalam *cold storage*. *Cold storage* yang menggunakan *air blast freezing* akan memiliki dimensi yang relatif kecil karena Pendinginan dengan cara ini memanfaatkan dinding dan atap dari *cold storage* tersebut untuk dapat berbelok kebawah sehingga dapat bersirkulasi kembali melalui *inlet* sistem refrigrasi yang dipasang.

2.3 Metode Pendinginan pada *Reefer Container*

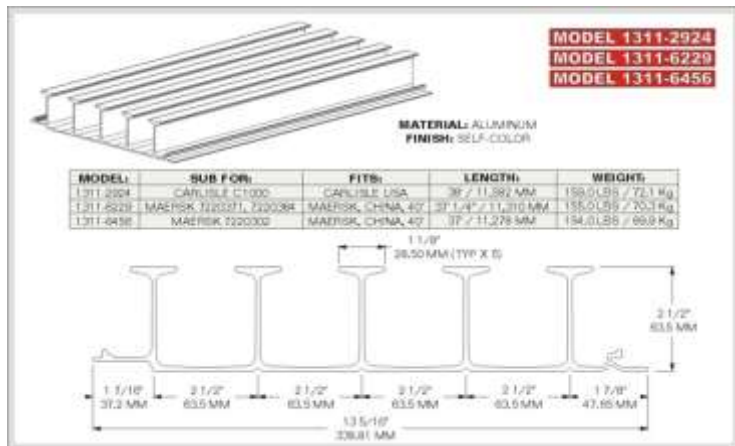
Jika dilihat berdasarkan fungsinya, *reefer container* memiliki fungsi yang sama dengan *cold storage*. Namun terdapat beberapa perbedaan dari keduanya yaitu meliputi kapasitas muatan dan metode pendinginannya. Sebuah *reefer container* memiliki

kapasitas lebih kecil jika dibandingkan dengan *cold storage* pada ruang palkah sebuah kapal.



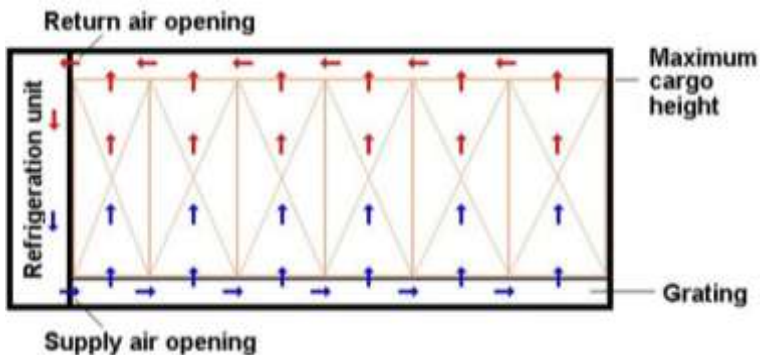
Gambar 2.4 Reefer Container

Kebanyakan *reefer container* menggunakan *T- Bar Floor* pada konstruksi alas bagian dalamnya. *T- bar floor* berfungsi sebagai saluran untuk mengalirnya udara pendingin didalam sebuah *reefer container*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.5 dibawah ini:



Gambar 2.5 T- Bar Floor

Pada *reefer container* udara dingin yang dihisap oleh *evaporator* dipaksa turun dengan menggunakan sebuah sekat penghalang sehingga udara dingin mengalir kebawah. Kemudian udara dingin tersebut mengalir melalui *T- bar floor* dan naik keatas untuk mendinginkan muatan didalam *reefer container*. Secara alamiah udara yang telah mendinginkan muatan akan naik dan bersirkulasi kembali seperti terlihat pada gambar 2.6 dibawah ini.

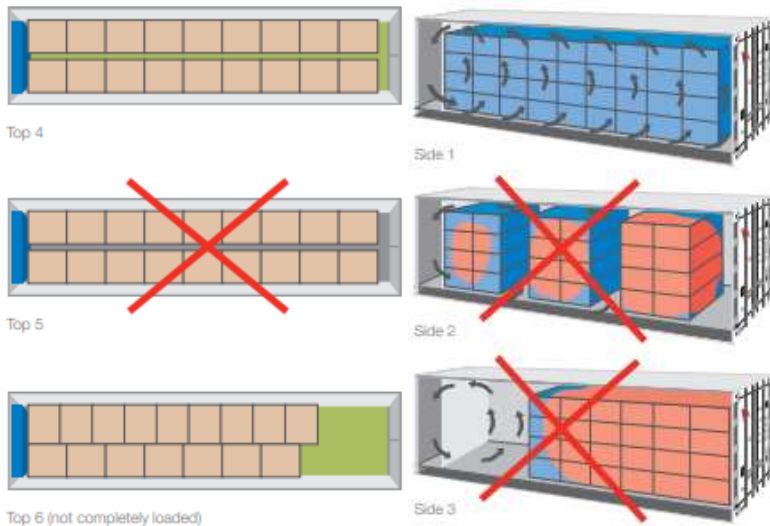


Gambar 2.6 Aliran udara pendingin pada *reefer container*

2.4 Penataan Muatan

Setiap muatan yang perlu didinginkan membutuhkan sirkulasi udara pendingin yang berbeda. Sehingga penataan atau penempatan muatan didalam ruang pendingin (*cold storage* atau *reefer container*) akan sangat berpengaruh terhadap sirkulasi udara pendingin. Pada salah satu *project guide* perusahaan Hamburg SUD menjelaskan mengenai penataan muatan didalam *reefer container*.

Dalam *reefer guide* ini, model penataan muatan yang dibahas adalah model penataan muatan untuk sistem distribusi udara pendingin menggunakan *T- bar floor*. Udara dari *evaporator* dipaksa turun dan melewati *T- bar floor* baru kemudian naik keatas untuk mendinginkan muatan. Beberapa contoh model penataan muatan dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Penataan Muatan Didalam *Cold Storage*

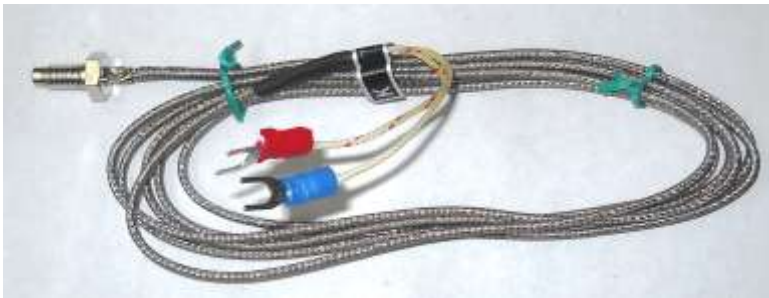
Dari gambar 2.7 mengenai penataan muatan didalam *cold storage*, dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu:

1. Sebisa mungkin ruangan terisi penuh dan rapat tanpa celah. Sehingga aliran udara pendingin mengalir melalui lubang- lubang *pallet* dan mendinginkan muatan. Dalam kondisi ini udara pendingin akan optimal tersuplai untuk muatan. (lihat gambar 2.7, side 1)
2. Jika dalam kondisi penuh *pallet* tidak sepenuhnya menutupi lantai/ *floor* dari *cold storage*, maka boleh diberi sedikit celah diantara dua barisan *pallet* (lihat gambar 2.7, top 4). Namun yang harus diketahui adalah jika terdapat celah, maka tepat diatas celah tersebut harus diberi *filler* untuk mengisi kekosongan tersebut. *Filler* ini berfungsi untuk mencegah agar udara pendingin tidak terpusat melalui celah tersebut dan mengakibatkan kurangnya aliran pendingin yang melalui muatan.

3. Jika terpaksa *cold storage* tidak bisa terisi penuh, maka tempatkan *pallet* secara rapat pada salah satu sisi. Dan pada sisi yang kosong letakkan *filler* seperti pada gambar 2.7 top 6 untuk mencaga agar aliran udara pendingin tidak melalui celah tersebut seperti terlihat pada gambar 2.7, side 3.

1.5 Thermocouple

Thermocouple adalah salah satu jenis sensor yang paling banyak digunakan untuk mengukur suhu. *Thermocouple* banyak digunakan karena mudah digunakan, responnya cepat dalam membaca suhu dan jangkauan pengukurannya cukup besar yaitu berkisar antara -200°C hingga 2000°C . berikut ini merupakan contoh sebuah *thermocouple* yang banyak beredar dipasaran:



Gambar 2. 8 *Thermocouple*

Thermocouple menggunakan dua jenis logam/ kawat konduktor berbeda yang digabung pada kedua ujungnya sehingga menciptakan efek “*Thermo-electric*” untuk mengukur suhu. Satu logam konduktor yang terdapat pada *thermocouple* akan berfungsi sebagai referensi dengan suhu konstan (tetap) sedangkan satu logam yang lainnya berfungsi sebagai logam konduktor yang mendeteksi suhu panas.

2.6 Rumus- Rumus yang Digunakan

Pada percobaan ini terdapat beberapa perhitungan yang harus dilakukan. Adapun rumus- rumus yang digunakan untuk mendapatkan hasil dari perhitungan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Perhitungan *Flow Rate*

Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui nilai dari *flow rate* dari udara yang dihembuskan oleh *evaporator* setelah dilakukan modifikasi maupun ketika belum dilakukan modifikasi. Selain itu, rumus ini juga digunakan untuk mencari nilai kecepatan aliran udara. Adapun rumusnya adalah:

$$Q = A \times v \text{ (m}^3/\text{s)}$$

Dimana :

$$Q = \text{Kapasitas (air flow rate)} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

$$A = \text{Luas Penampang} \quad (\text{m}^2)$$

$$V = \text{kecepatan aliran udara} \quad (\text{m/s})$$

2. Perhitungan *Losses*

Losses/ pressure drop atau rugi- rugi adalah fenomena penurunan nilai tekanan pada suatu aliran. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah panjang saluran, kekasaran permukaan (material), belokan dan percabangan serta aksesoris lainnya.

Terdapat beberapa modifikasi dalam percobaan yang dilakukan, dan pada masing- masing modifikasi dilakukan perhitungan lossesnya. Perhitungan pertama yang dilakukan adalah perhitungan *friction loss* pada modifikasi *barrier bulkhead*. Adapun perhitungannya dapat menggunakan rumus :

$$\Delta P_f = f \left(\frac{L}{D_h} \right) (VP)$$

Sumber:

Kreider, Jan F., **Handbook Of Heating, Ventilation And Air Conditioning.**

Dimana:

ΔP_f = *Friction Loss*

F = *Friction factor*, (Re dan kekasaran permukaan)

L = Panjang *ducting*

D_h = *Hydrolic cross sectional diameter*

$V.P$ = *Velocity Pressure*

Sedangkan untuk dapat menghitung *friction loss*, terlebih dahulu harus didapatkan nilai D_h yang dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$D_h = 4A/P$$

Dimana A merupakan luas penampang dan P adalah nilai keliling dari *ducting*. Kemudian selanjutnya dilakukan perhitungan nilai f (*friction factor*) yang didapatkan dari diagram *moody*. Pembacaan nilai f membutuhkan beberapa variabel lain diantaranya adalah *Reynold number* (Re) dan nilai k/D_h .

$$Re = (D_h \times V)/\nu$$

$$k/D_h = k_{\text{aluminium}}/D_h$$

$$= 0.0000015/D_h$$

Perhitungan selanjutnya adalah menentukan nilai *velocity pressure* (V_p) dengan rumus berikut:

$$\frac{V^2}{1096,5^2} = \frac{VP}{\rho}$$

Diketahui nilai p udara pada suhu 14°C adalah 0.076349 lb/ft^3 , sedangkan nilai V (kecepatan aliran). Dengan variabel- variabel yang telah dijelaskan ini maka nilai *friction loss* dari *ducting* pada modifikasi *barrier bulkhead* dapat dihitung.

Kemudian untuk perhitungan *friction loss* pada modifikasi *circular ducting* (menggunakan pipa pvc) dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$\Delta P = \frac{\lambda \times l \times V^2 \times \rho}{2d}$$

Dimana :

Q = *Flow rate* dalam pipa

λ = Koefisien gesek pipa
 $= 0.051 / Q^{0.148}$

l = Panjang pipa

ρ = Massa jenis udara pada suhu operasional

d = Diameter dalam pipa

Selain *friction loss*, terdapat *minor loss* yang berasal dari aksesoris yang terdapat dalam saluran. Beberapa aksesoris yang digunakan pada percobaan ini diantaranya adalah *elbow 90°* dan *T joint*. Berikut rumus yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai *minor losses*:

$$\Delta P = \frac{\left(\frac{\beta}{90}\right) \times \xi \times V^2 \times \rho}{2}$$

Dimana :

β = Sudut belokan yang nilainya 90°

v = kecepatan aliran yang nilainya 5 m/s

ρ = Massa jenis udara yang nilainya 1.223 kg/m³

ϵ = Koefisien akibat adanya aksesoris

Total *losses* yang dihasilkan oleh modifikasi *circular ducting* adalah nilai dari penjumlahan nilai *friction loss* dengan *minor loss*.

Total Losses = Friction loss + minor loss

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Identifikasi dan Perumusan Masalah

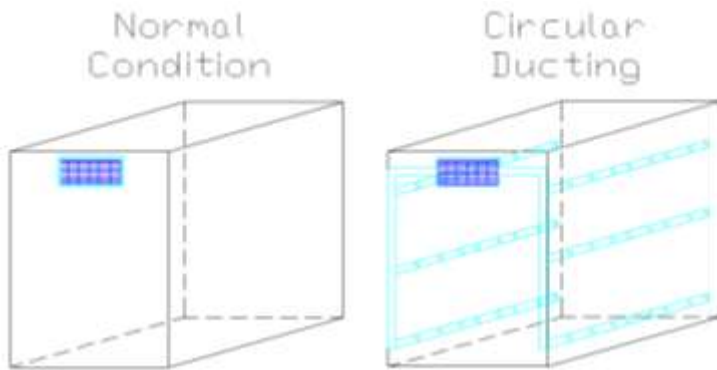
Penulisan skripsi ini diawali dengan melakukan identifikasi dan membuat perumusan masalah mengenai penelitian yang akan dilakukan. Kemudian selanjutnya disusun batasan masalah dalam penelitian ini untuk mengerucutkan permasalahan yang akan dibahas. Hal ini dilakukan untuk memudahkan pengerjaan dan penyelesaian penulisan skripsi ini.

3.2 Studi Literatur

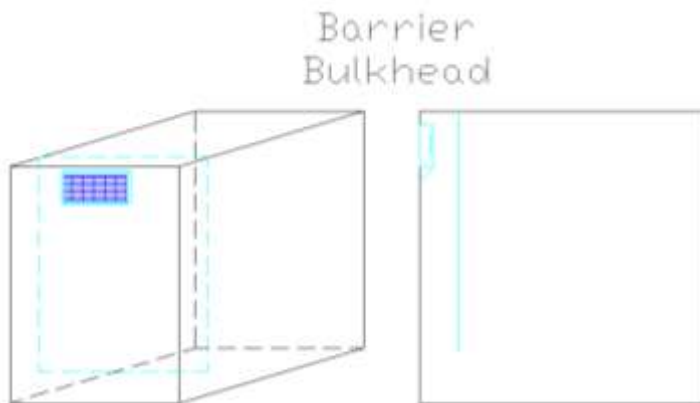
Seluruh pustaka yang menunjang penelitian mengenai modifikasi sistem penyebaran aliran udara pendingin didalam *cold storage* ini didapatkan dari berbagai macam sumber yang berisi tentang *cold storage*, muatan *horticultural*, perpindahan panas, *stowage* didalam cold storage, serta pengukuran suhu dengan menggunakan *thermocouple*. Beberapa sumber pustaka tersebut adalah berasal dari *paper*, artikel, buku, skripsi/ tugas akhir, internet, dll.

3.3 Studi Empiris

Pengumpulan data- data yang diperlukan untuk memodifikasi *cold storage* dengan sebuah *evaporator*. Beberapa data yang diperlukan adalah dimensi, kapasitas, spesifikasi mesin pendingin, dan data- data lain yang diperlukan untuk menunjang pengerjaan skripsi. Pada studi empiris juga diperlukan *draft* rancangan modifikasi yang akan dilakukan pada *cold storage* seperti terlihat pada gambar 3.1 dan gambar 3.2.



Gambar 3.1 Konsep Desain *Circular Ducting*



Gambar 3.2 Konsep Desain *Barrier Bulkhead*

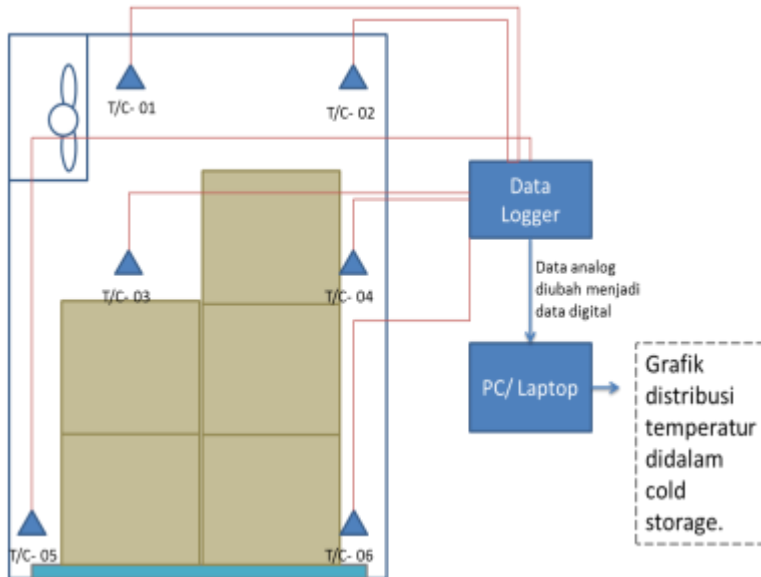
Modifikasi yang akan dilaksanakan adalah dengan menambahkan pipa-pipa dan beberapa sekat didalam *cold storage*. Pipa – pipa dan beberapa sekat yang dipasang akan digunakan untuk mengatur distribusi aliran udara pendingin didalam *cold storage* sehingga diharapkan penyebaran udara didalam *cold storage* lebih merata.

3.4 Pelaksanaan Percobaan dan Pengumpulan Data

Setelah desain dari modifikasi yang akan dilakukan pada *cold storage* dibuat, selanjutnya desain tersebut diterapkan pada *cold storage*. Pertama- tama diterapkan modifikasi dengan menggunakan pipa- pipa yang dipasang sedemikian rupa sehingga aliran udara pendingin yang pada awalnya hanya datang dari satu arah menuju muatan, diubah menjadi beberapa arah sehingga pendinginan pada muatan bisa lebih merata. Setelah modifikasi diterapkan, langkah selanjutnya dilakukan pengambilan data dengan menggunakan *thermocouple* sehingga dapat diketahui pemerataan penyebaran udara pendingin dalam *cold storage*.

Sama halnya pada percobaan pertama, pada percobaan kedua dilakukan penerapan desain modifikasi *cold storage* dengan menggunakan sekat- sekat untuk mengatur aliran udara pendingin. Pada awalnya udara pendingin langsung dihembuskan ke muatan dari atas, namun dengan penambahan sekat- sekat ini akan mengubah arah datangnya udara pendingin sehingga menjadi datang dari bawah dan naik katas dan disirkulasikan kembali. Langkah selanjutnya dilakukan pengambilan data dengan menggunakan *thermocouple* sehingga dapat diketahui pemerataan penyebaran udara pendingin dalam *cold storage*.

Data analog dari *thermocouple* dikirimkan ke *data logger* yang kemudian diubah menjadi data *digital* yang diterima melalui computer (PC)/ laptop. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 6 mengenai *flowchart* dari percobaan yang akan dilakukan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3.3 mengenai *flowchart* percobaan.



Gambar 3.3 *Flowchart Percobaan*

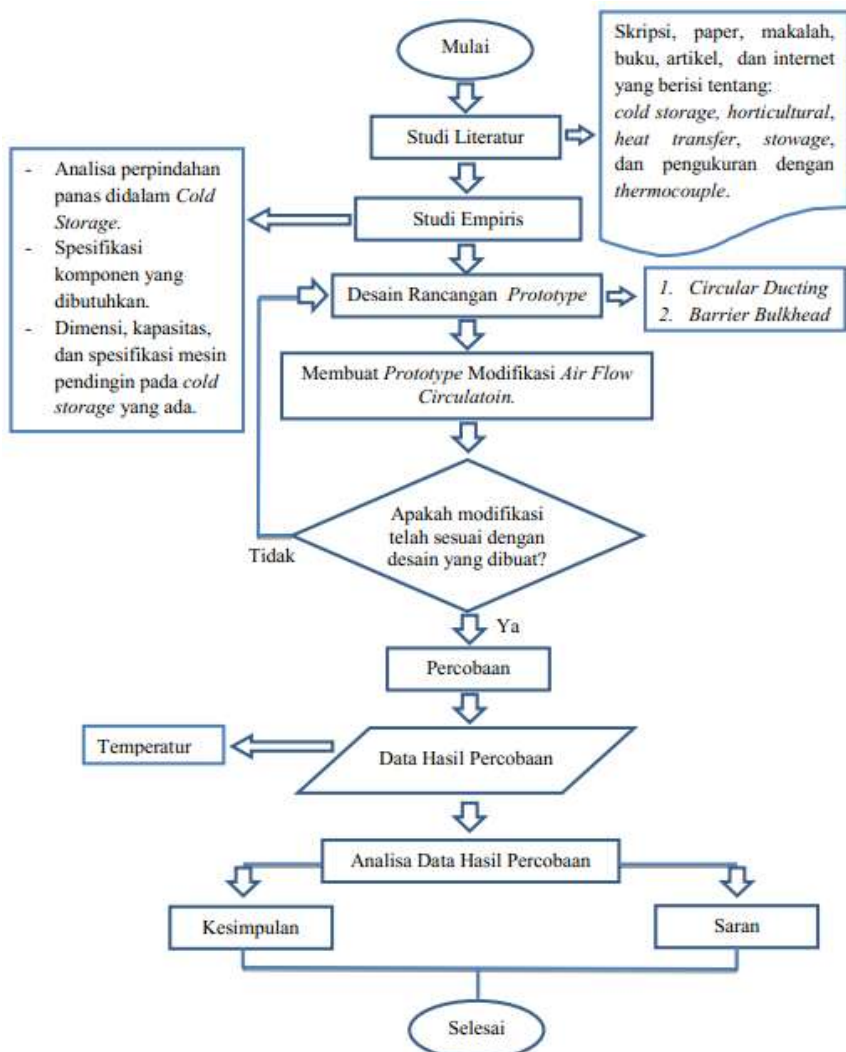
3.5 Analisa Data Hasil Percobaan

Pada tahap ini, data- data yang telah dikumpulkan akan dianalisa berdasarkan teori yang ada. Selanjutnya diamati bagaimana hasil grafik dari persebaran suhu didalam *cold storage* setelah dilakukan modifikasi. Dari grafik akan terlihat apakah modifikasi yang dilakukan dapat menghasilkan pendinginan yang lebih optimal pada muatan didalam *cold storage* atau tidak.

3.6 Kesimpulan

Pengambilan kesimpulan dapat dilakukan setelah percobaan dilakukan. Dari kesimpulan tersebut dapat diberikan saran yang sesuai dengan fakta yang ada agar penelitian selanjutnya dapat memperbaiki kekurangan pada penelitian ini.

3.7 Flowchart Metodologi Penelitian



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Peralatan dan Bahan yang Digunakan

Pada percobaan yang telah dilakukan, digunakan beberapa peralatan dan bahan yang mendukung terlaksananya percobaan. Beberapa peralatan dan bahan tersebut adalah sebagai berikut.

1. *Cold Storage*

Cold Storage adalah sebuah ruang atau tempat yang dilengkapi dengan mekanisme pendinginan didalamnya. *Cold Storage* digunakan untuk menjaga kualitas suatu buah-buahan, sayuran, dan daging agar tetap segar dan tidak busuk atau rusak. Pada percobaan yang akan dilakukan, *cold storage* merupakan peralatan utama yang akan digunakan sebagai tempat terlaksananya percobaan dan pengambilan data.



Gambar 4.1 *Cold Storage*

2. Plat Aluminium

Modifikasi yang akan dilakukan untuk menghasilkan perubahan sirkulasi aliran udara pendingin didalam *cold storage* menggunakan material dasar berupa aluminium. Lembaran plat aluminium dibentuk sesuai dengan desain perencanaan modifikasi yang akan dilakukan. Pada modifikasi yang dilakukan, digunakan dua jenis plat aluminium yaitu

plat aluminium dengan ketebalan 1 mm dan plat aluminium dengan ketebalan 0.4 mm.



Gambar 4.2 Plat Aluminium

3. Profil L (Siku) Aluminium

Sama halnya dengan plat aluminium, siku aluminium digunakan untuk menghasilkan modifikasi sesuai dengan yang direncanakan pada percobaan ini. Siku yang digunakan berfungsi sebagai penguat untuk plat aluminium.



Gambar 4.3 Siku Aluminium

Terdapat dua macam siku yang digunakan pada modifikasi ini yaitu siku dengan ketebalan 1 mm dengan panjang sisi berbeda (siku spigot) dan siku dengan ketebalan 2 mm dengan panjang sisi yang sama.

4. *Hand Riveter*

Hand Riveter merupakan alat yang digunakan untuk menyatukan dua bagian atau lebih dari komponen aluminium. Misalnya saja selembar plat aluminium dengan sebuah siku. *Hand riveter* bekerja dengan menggunakan sebuah paku *riveter* yang mengapit dua bagian yang akan disatukan atau diikat.



Gambar 4.4 *Hand Riveter*

5. Mesin Bor

Mesin bor digunakan untuk membuat lubang baik pada plat maupun siku aluminium. Untuk dapat menghasilkan lubang, maka harus dipasang sebuah mata bor sesuai dengan ukuran yang diinginkan. Pada modifikasi yang dilakukan, digunakan dua jenis mata bor yaitu mata bor dengan diameter 5 mm dan 6 mm.



Gambar 4.5 Mesin Bor

6. Gergaji

Gergaji digunakan untuk memotong siku aluminium dan pipa- pipa PVC sesuai dengan desain rancangan modifikasi.



Gambar 4.6 Gergaji

7. Gunting Plat

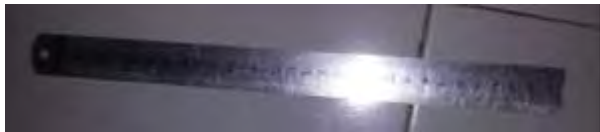
Gunting plat ini merupakan gunting khusus yang banyak digunakan untuk memotong plat- plat tipis seperti aluminium.



Gambar 4.7 Gunting Plat

8. Penggaris

Penggaris digunakan untuk memastikan bahwa modifikasi yang dibuat telah sesuai dengan desain yang direncanakan.



Gambar 4.8 Penggaris

9. *Anemometer*

Anemometer merupakan suatu alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin. Namun pada percobaan ini *anemoter* akan digunakan untuk mengukur *air flow rate* yang dihasilkan oleh *evaporator* setelah dilakukan modifikasi.



Gambar 4.9 *Anemometer*

10. *Thermocouple*

Pada percobaan yang akan dilakukan, pengukuran suhu didalam *cold storage* direncanakan menggunakan *thermocouple*. Terdapat beberapa jenis *thermocouple*, namun yang akan digunakan pada percobaan adalah *thermocouple* tipe K yang banyak digunakan dipasaran karena harganya yang relatif murah namun tetap peka dan sensitif. *Thermocouple* tipe ini dapat mengukur suhu dari -270°C hingga 790°C .



Gambar 4.10 *Thermocouple* Tipe K

11. Pipa PVC

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa salah satu modifikasi yang dilakukan adalah menggunakan material berupa pipa pvc. Pipa yang digunakan untuk modifikasi adalah pipa pvc dengan diameter 1.5 inch (1.5 dim) dan panjang total pipa yang dibutuhkan kurang lebih sekitar 12m.



Gambar 4.11 Pipa PVC

12. Aksesoris Pipa PVC (*T joint* dan *Elbow 90°*)

Untuk merangkai modifikasi dengan menggunakan pipa PVC dibutuhkan aksesoris lain agar rangkaian dapat dibentuk sesuai dengan desain yang direncanakan. Salah satu aksesoris yang digunakan adalah *T joint* yang digunakan untuk menghubungkan tiga pipa menjadi satu rangkaian.

Gambar 4.12 *T Joint*

Aksesoris lain yang juga digunakan pada modifikasi dengan menggunakan pipa PVC adalah *elbow 90°* yang berfungsi untuk mengubah arah aliran didalam pipa sehingga berbelok sebesar 90°.

Gambar 4.13 *Elbow 90°*

13. Lem PVC

Dalam rangkaian modifikasi *circular ducting* digunakan lem khusus sehingga rangkaian pipa pada modifikasi dapat tersusun dan melekat dengan baik. Pada modifikasi ini digunakan lem khusus PVC dengan merek isarplas.



Gambar 4.14 Lem PVC

4.2 Perhitungan Kebutuhan *Air Flow Rate* Pada *Cold Storage*

Untuk menghitung *air flow rate* pada *cold storage* digunakan pendekatan perbandingan dengan nilai *air flow rate* pada sebuah *reefer container* 40 ft yang telah diketahui nilainya. Berikut detail perhitungannya:

Daikin 40ft Reefer Container

$$\text{Air flow rate} = 96.3 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$\text{Volume} = 63.25 \text{ m}^3$$

Cold Storage Workshop MMS

$$P \times L \times T = 1 \times 1.25 \times 2.3$$

$$\text{Volume} = 2.875 \text{ m}^3$$

$$\text{Air flow rate cold storage} = (2.875/63.25) \times 96.3$$

$$= 4.377 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$= 262.62 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$= 0.073 \text{ m}^3/\text{s}$$

Berdasarkan perhitungan diatas dapat dilihat bahwa *cold storage pada workshop MMS* hanya membutuhkan *air flow rate* sebesar $262.62 \text{ m}^3/\text{h}$. Sedangkan berdasarkan pada spesifikasi *evaporator* pada *cold storage* diketahui *air flow rate* yang dihasilkan sebesar $1224 \text{ m}^3/\text{h}$. Sehingga pada percobaan ini dilakukan modifikasi untuk mengurangi *air flow rate* yang dihasilkan oleh *evaporator* sehingga sesuai dengan hasil dari perhitungan yang telah dilakukan. Modifikasi yang dilakukan adalah dengan menutup sebagian *evaporator* sehingga hanya sebagian kecil udara yang berhembus keluar dari *evaporator*.

4.3 Variasi Percobaan

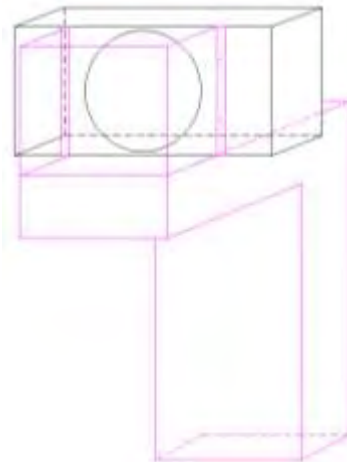
Seperti yang telah dibahas sebelumnya, pada percobaan yang akan dilakukan terdapat beberapa modifikasi atau variasi percobaan. Berdasarkan beberapa variasi tersebut akan dilakukan analisa sehingga dapat disimpulkan beberapa hal mengenai modifikasi yang telah dilakukan. Berikut ini variasi percobaan yang akan dilakukan:

1. Percobaan Pengukuran *Air Flow Rate Evaporator*

Seperti dijelaskan pada bab sebelumnya, *cold storage* yang terdapat pada *workshop* MMS memiliki dimensi yang cukup kecil sehingga perlu dilakukan modifikasi sehingga *air flow rate* yang dihirup oleh *evaporator* tidak terlalu besar.

2. Percobaan *Barrier Bulkhead*

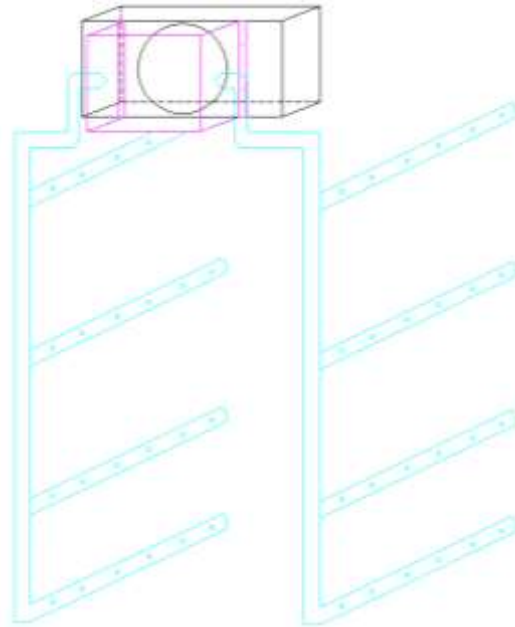
Percobaan pertama dilakukan dengan terpasangnya saluran (*ducting*) yang mengarahkan aliran udara pendingin sehingga berhembus dari bawah dan secara perlahan naik ke atas untuk mendinginkan muatan didalam *cold storage*. Lebih jelasnya dilihat pada gambar 4.15 dibawah ini:



Gambar 4.15 *Barrier Bulkhead*

3. Percobaan *Circular Ducting*

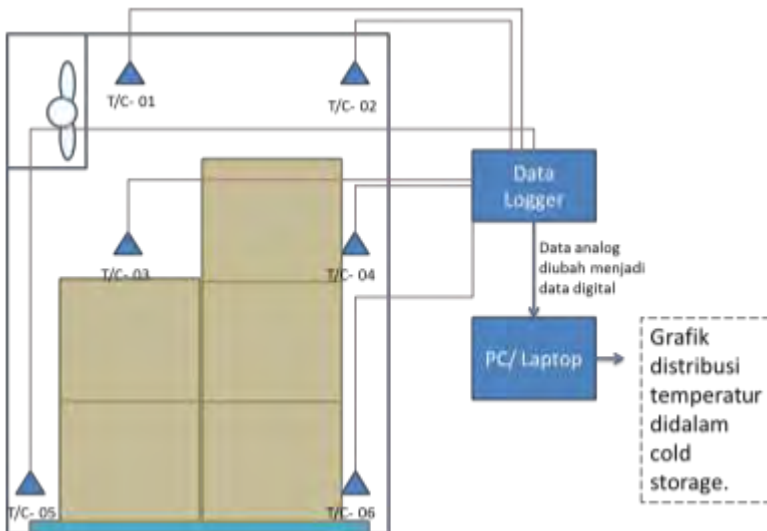
Percobaan selanjutnya adalah dengan mengarahkan udara pendingin dengan menggunakan pipa pvc sehingga udara yang dihembuskan oleh *evaporator* mengalir melalui pipa- pipa tersebut dan keluar melalui lubang- lubang yang diarahkan tepat kearah muatan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 4.16 *Circular Ducting*

4.4 Skema Pengambilan Data dan Variabel Dalam Percobaan

Setelah variasi percobaan seperti dijelaskan dalam sub bab sebelumnya ditentukan, maka percobaan dapat dilakukan. Data *analog* berupa suhu yang terbaca dari *thermocouple* dikirimkan ke *data logger* yang kemudian diubah menjadi data *digital* yang diterima melalui computer (PC)/ laptop. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.13 mengenai skema pengambilan data dari percobaan yang akan dilakukan.



Gambar 4.17 Skema Pengambilan Data

Pada percobaan dalam skripsi ini terdapat beberapa variabel yang akan digunakan yaitu variabel kontrol, variabel manipulasi dan variabel respon. Variabel kontrol merupakan variabel yang tidak berubah atau dijaga konstan selama percobaan berlangsung, sedangkan variabel manipulasi merupakan variabel yang diubah-ubah/ divariasikan selama percobaan, dan variabel respon merupakan hasil atau respon yang dihasilkan dari percobaan.

Berdasarkan penjelasan sebelumnya dapat disimpulkan beberapa variabel yang digunakan dalam percobaan ini adalah:

1. Variabel Kontrol : Dimensi *cold storage*, *air flow rate*, muatan, *stowage*, posisi *thermocouple* dan suhu *cold storage*.
2. Variabel Manipulasi : *Air Flow Circulation*
3. Variabel Respon : Distribusi suhu dan waktu

4.5 Hasil Modifikasi

Dalam percobaan ini terdapat beberapa modifikasi yang akan dilakukan seperti dijelaskan pada bab sebelumnya. Berikut ini merupakan hasil modifikasi yang telah dibuat:

1. Modifikasi *Evaporator*

Modifikasi pertama yang telah dibuat dapat dilihat pada gambar 4.18 dibawah ini:



Gambar 4.18 Modifikasi *Evaporator*

Dapat dilihat pada gambar 4.18 mengenai modifikasi *evaporator* bahwa terdapat sebuah sekat dengan lubang pada bagian tengahnya. Pada lubang tersebut juga terdapat penutup dengan tangkai yang dapat digunakan untuk mengatur bukaan pada lubang tersebut. Seperti dijelaskan pada bab sebelumnya bahwa modifikasi *evaporator* dimaksudkan untuk menurunkan *flow rate* yang dihembuskan oleh *evaporator*.

2. Modifikasi *Barrier Bulkhead*

Modifikasi kedua yang telah dibuat dapat dilihat pada gambar 4.19 dibawah ini:



Gambar 4.19 Modifikasi *Barrier Bulkhead*

Modifikasi *barrier bulkhead* merupakan modifikasi yang dibuat dengan tujuan untuk merubah aliran udara pendingin yang dihembuskan oleh *evaporator*. Dengan modifikasi ini arah aliran udara yang awalnya langsung dihembuskan oleh *evaporator*, kini dialirkan kebawah sehingga menghembus dan mendinginkan muatan didalam *cold storage* dari bawah.

Modifikasi *barrier bulkhead* ini dibuat dengan bentuk *ducting* segi empat dan menggunakan material plat aluminium.

3. Modifikasi *Circular Ducting*

Modifikasi ketiga yang telah dibuat dapat dilihat pada gambar 4.20 dibawah ini:





Gambar 4.20 Modifikasi *Circular Ducting*

Sama halnya dengan modifikasi *barrier bulkhead*, modifikasi *circular ducting* ini dibuat dengan tujuan untuk merubah aliran udara pendingin yang dihembuskan oleh *evaporator*. Dengan modifikasi ini arah aliran udara yang awalnya langsung dihembuskan oleh *evaporator*, kini dialirkan melalui saluran pipa dengan beberapa lubang sehingga menghembus tepat kearah muatan dan mendinginkannya.

Modifikasi *circular ducting* ini dibuat dengan menggunakan material pipa pvc berukuran 2 dim (2 inch). Panjang total pipa pvc yang dibutuhkan adalah sekitar 12m dengan beberapa aksesoris seperti *elbow 90°* dan *T joint*.

1.6 Perhitungan Pressure Loss

4.6.1 Barrier Bulkhead

Perhitungan *friction loss* pada modifikasi *barrier bulkhead* dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\Delta P_f = f \left(\frac{L}{D_h} \right) (VP)$$

Dimana:

ΔP_f = Friction Loss

f = Friction factor, (Re dan kekasaran permukaan)

L = Panjang ducting

D_h = Hydrolic cross sectional diameter

$V.P$ = Velocity Pressure

Sedangkan untuk dapat menghitung *friction loss*, terlebih dahulu harus didapatkan nilai D_h yang dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$D_h = 4A/P$$

Dimana A merupakan luas penampang dan P adalah nilai keliling dari *ducting*. Sehingga nilai D_h adalah

$$A = P \times L$$

$$= 0.34 \times 0.08$$

$$= 0.0272 \text{ m}^2$$

$$P = 2 \times (P + L)$$

$$= 2 \times (0.34 + 0.08)$$

$$= 0.84 \text{ m}$$

$$D_h = 4 (0.0272 / 0.84)$$

$$= 0.13 \text{ m}$$

Kemudian selanjutnya dilakukan perhitungan nilai f (*friction factor*) yang didapatkan dari diagram *moody*. Pembacaan nilai f membutuhkan beberapa variabel lain diantaranya adalah *Reynold number* (Re) dan nilai k/D_h .

$$Re = (D_h \times V) / \nu$$

$$k/D_h = k \text{ aluminium} / D_h$$

$$= 0.0000015 / 0.13$$

$$= 1.16 \times 10^{-5}$$

Dimana V adalah *fluid velocity*, sedangkan ν (m/s) adalah *kinematic viscosity* (m²/s). Maka nilai Re didapatkan sebagai berikut:

$$Re = (D_h \times V) / \nu$$

$$= (0.13 \times 2.683) / 1.142 \times 10^{-5}$$

$$= 24616.17$$

Berdasarkan pembacaan pada diagram *moody* didapatkan nilai f sebesar 0.465. Perhitungan selanjutnya adalah menentukan nilai *velocity pressure* (V_p) dengan rumus berikut:

$$\frac{V^2}{1096,5^2} = \frac{VP}{\rho}$$

Diketahui nilai p udara pada suhu 14°C adalah 0.076349 lb/ft³, sedangkan nilai V (kecepatan aliran) adalah 528.3 ft/min.

$$\begin{aligned}
 V_p &= (V^2 \times p) / 1096.5^2 \\
 &= (528.3^2 \times 0.076349) / 1096.5^2 \\
 &= 0.017724201 \text{ inch water} \\
 &= 4.41641 \times 10^{-5}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan variabel- variabel diatas, maka nilai *friction loss* dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$\begin{aligned}
 \Delta P_f &= f \left(\frac{L}{D_h} \right) (VP) \\
 &= 0.465 (3.365 / 0.13) \times 4.41641 \times 10^{-5} \\
 &= 0.000576338 \text{ bar} \\
 &= 57.6338 \text{ Pa}
 \end{aligned}$$

4.6.2 Circular Ducting

Perhitungan *friction loss* pada modifikasi *circular ducting* dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\Delta P = \frac{\lambda \times l \times V^2 \times \rho}{2d}$$

Dimana :

Q = *flow rate* dalam pipa

$$= A \times V$$

$$= (0.255 \times 0.135) \times 5$$

$$= 0.172 \text{ m}^3/\text{s}$$

λ = Koef gesek pipa

$$= 0.051 / Q^{0.148}$$

$$= 0.0728$$

l = Panjang pipa = 3.42 m

$$p = 1.223 \text{ kg/m}^3$$

$$d = 1.5 \text{ inch}$$

$$= 0.0381 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta P &= (\lambda \times l \times v^2 \times \rho) / 2d \\
 &= (0.0728 \times 3.42 \times 1.223) / 2 \times 0.0381 \\
 &= 99.88342 \text{ Pa} \\
 &= 99.88342 \text{ kg/ ms}^2
 \end{aligned}$$

Selain *friction loss*, terdapat *minor loss* yang berasal dari aksesoris yang terdapat dalam saluran. Beberapa aksesoris yang digunakan pada percobaan ini diantaranya adalah *elbow 90°* dan *T joint*. Berikut detail perhitungannya:

$$\Delta P = \frac{\left(\frac{\beta}{90}\right) \times \xi \times V^2 \times \rho}{2}$$

Dimana :

β = sudut belokan yang nilainya 90°

v = kecepatan aliran yang nilainya 5 m/s

ρ = Massa jenis udara yang nilainya 1.223 kg/m³

ϵ = Koefisien akibat adanya aksesoris

nilai ϵ didapatkan sebagai berikut:

komponen	n	k	n x k
<i>Elbow 90°</i>	4	0.3	1.2
<i>T joint</i>	2	1	2
Total			3.2

Sehingga ΔP dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \Delta P &= (1 \times 3.2 \times 5^2 \times 1.223) / 2 \\
 &= 48.92 \text{ Pa} \\
 &= 48.92 \text{ kg/ ms}^2
 \end{aligned}$$

Total losses yang dihasilkan oleh modifikasi *circular ducting* adalah nilai dari penjumlahan nilai *friction loss* dengan *minor loss*. Berikut nilai total *losses* pada modifikasi ini:

$$\begin{aligned}
 \text{Total Losses} &= 99.88342 + 48.92 \\
 &= 4886.273 \text{ Pa} \\
 &= 0.048863 \text{ Bar}
 \end{aligned}$$

4.7 Prosedur Pengambilan Data

4.7.1 Mengatur *Air Flow Rate* Pada *Cold Storage*

4.7.1.1 Tanpa Modifikasi

Pada sub bab 4.2 telah dijelaskan mengenai perhitungan kebutuhan *air flow rate* pada *cold storage*. Perhitungan kebutuhan ini menghasilkan suatu nilai yang akan dijadikan sebagai salah satu variabel kontrol dalam percobaan ini, sehingga sebelum percobaan dapat dilakukan, maka harus dilakukan pengaturan *flow rate* terlebih dahulu.

Seperti dijelaskan pada sub bab 4.2 mengenai perhitungan kebutuhan *air flow rate* pada *cold storage* diketahui nilai *air flow rate* yang dibutuhkan oleh *cold storage* yang berada di dalam *workshop* laboratorium MMS adalah sebesar $0.073 \text{ m}^3/\text{s}$, sehingga dilakukan modifikasi untuk menurunkan nilai *flow rate evaporator* yang bernilai sebesar $0.34 \text{ m}^3/\text{s}$ hingga mencapai nilai yang sesuai dengan perhitungan tersebut. Untuk menurunkan nilai *flow rate* dari *evaporator*, ditambahkan sebuah sekat yang dapat diatur luasan bukaanannya sehingga *air flow rate* dapat di atur sesuai dengan kebutuhan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.21 mengenai modifikasi *evaporator*.



Gambar 4.21 Modifikasi pada *evaporator*

Untuk dapat mengetahui apakah bukaan pada sekat telah sesuai (menghasilkan nilai *flow rate* sesuai dengan perhitungan), dibutuhkan sebuah alat tambahan bernama *anemometer* yang berfungsi untuk mengukur kecepatan aliran udara yang dihembuskan oleh *evaporator* setelah dilakukan modifikasi.



Gambar 4. 22 Pengukuran dengan *anemometer*

Kemudian untuk mendapatkan nilai *flow rate* dilakukan perhitungan dengan rumus $Q = A \times V$, dimana Q adalah kapasitas, A luas penampang yang nilainya sebesar 0.042 m^2 yang didapatkan dari perkalian $35.5 \times 11.8\text{m}$ dan V adalah kecepatan aliran udara yang didapatkan dari pengukuran dengan menggunakan *anemometer*. Berdasarkan rumus tersebut, untuk mendapatkan nilai *flow rate* sebesar $0.073 \text{ m}^3/\text{s}$ maka harus didapatkan nilai kecepatan aliran udara yang dihasilkan akibat pengaturan bukaan sekat pada modifikasi *evaporator* adalah sekitar 1.7 m/s seperti terlihat pada gambar 4.22.

4.7.1.2 Modifikasi *Barrier Bulkhead*

Pada modifikasi ini udara yang dihembuskan oleh *evaporator* dan dialirkan melalui saluran (*ducting*) hingga menghembus melalui bagian bawah *cold storage* dan mendinginkan muatan dari bawah. Karena *output* udara pendingin melalui lubang *ducting* maka nilai luasan A yang

digunakan dalam perhitungan merupakan luas permukaan dari ducting. Perhitungan lebih jelasnya sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Q &= A \times V \\ 0.073 &= (0.34 \times 0.08) \times V \\ V &= \pm 1.9 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Berdasarkan nilai v pada hitungan diatas, maka sekat bukaan pada modifikasi *evaporator* diatur sedemikian mungkin hingga didapatkan nilai kecepatan udara sekitar $\pm 1.9 \text{ m/s}$. berdasarkan percobaan dengan menggunakan *anemometer* telah didapatkan nilai kecepatan udara yang sesuai sehingga pengambilan data dapat dilakukan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 4. 23 Pengukuran kecepatan aliran

4.7.1.3 Modifikasi *Circular Ducting*

Perhitungan *air flow rate* pada modifikasi ini dilakukan dengan cara mengukur *flow rate* udara yang keluar disetiap lubang *output* dari pipa. Untuk dapat menghitung nilai *flowrate* di setiap lubang, terlebih dahulu harus dilakukan pengukuran kecepatan aliran udara keluar dari setiap lubang dengan menggunakan *anemometer*. Setelah nilai kecepataannya diketahui, maka dilakukan pendekatan perhitungan dengan menggunakan rumus $Q = A \times V$, dimana A merupakan luas penampang lubang yang besarnya 0.00013 m^2 , sedangkan V merupakan kecepatan aliran udara yang nilainya bisa didapatkan berdasarkan pengukuran dengan menggunakan *anemometer*. Hasil pengukuran kecepatan pada setiap lubang dengan menggunakan *anemometer* dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 4. 1 Data kecepatan aliran udara pada *output* pipa

Cabang ke	1	2	3	4
Lubang ke				
1	3.2	3.7	4.2	4.5
2	3.1	3.4	4	4.2
3	3.1	3.4	3.8	4.2
4	2.8	3.3	3.8	4.2
5	2.5	3.2	3.7	4.1
6	2.4	2.7	3.3	3.7

Berdasarkan dari data kecepatan udara keluaran lubang pipa pada tabel diatas, maka dapat dilakukan perhitungan nilai *flow rate* yang dihasilkan dengan adanya modifikasi ini. Hasil perhitungannya dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Data *flow rate* di setiap lubang pipa

Cabang ke	1	2	3	4
Lubang ke				
1	0.000362	0.000418	0.000475	0.000509
2	0.00035	0.000384	0.000452	0.000475
3	0.00035	0.000384	0.00043	0.000475
4	0.000317	0.000373	0.00043	0.000475
5	0.000283	0.000362	0.000418	0.000463
6	0.000271	0.000305	0.000373	0.000418
total disatu sisi =				0.009552
Total =				0.019104

Nilai total *flowrate* dari tabel diatas merupakan nilai *flowrate* yang dihasilkan oleh kedua sisi dari modifikasi *circular ducting*. Nilai total *flowrate* yang dihasilkan setelah dilakukan modifikasi adalah $0.019104 \text{ m}^3/\text{s}$.

4.7.2 Penataan Kargo Didalam *Cold Storage*

Pada percobaan ini, muatan/ kargo yang digunakan adalah buah pisang yang dikemas didalam kardus buah dan ditata pada sebuah rak didalam *cold storage*. karena dimensi *cold storage* yang relative kecil, sehingga *volume* muatan yang bisa dimuat oleh *cold storage* tidak bisa terlalu banyak. Hanya terdapat 3 tingkat rak yang dimasing- masing raknya hanya mampu menampung 4 kardus dan ditambah 2 kardus lagi di bagian paling atas dari rak tersebut. Pada saat percobaan, salah satu muatan (buah pisang) diletakkan diluar *box*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 4. 24 *Stowage* di dalam *cold storage*

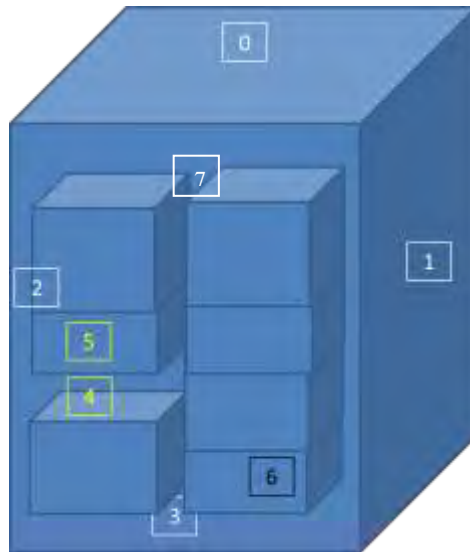
4.7.3 Penempatan *Thermocouple*

Sebelum dilakukan percobaan, harus ditentukan beberapa titik untuk penempatan *thermocouple* didalam *cold storage*. Pada percobaan ini digunakan 7 titik penempatan *thermocouple* didalam *cold storage*. 7 titik yang ditentukan termasuk titik penempatan *thermocouple* didalam kardus buah maupun *thermocouple* yang dimasukkan kedalam daging buah pisang sebagai muatan/ kargo dalam percobaan ini.



Gambar 4. 25 Penempatan T/C didalam kardus dan buah

Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa terdapat dua *thermocouple* didalam kardus muatan/ kargo. Satu *thermocouple* masuk kedalam daging buah dan satunya lagi hanya diletakkan didalam kardus buah. Selain didalam kardus buah dan ditancapkan ke dalam daging buah, *thermocouple* juga diletakkan di beberapa titik didalam *cold storage*. Tujuan dari penempatan titik- titik tersebut adalah untuk mengetahui penyebaran suhu didalam *cold storage* dengan melakukan percobaan. Adapun beberapa titik penempatan *thermocouple* dapat dilihat pada gambar 4.26.

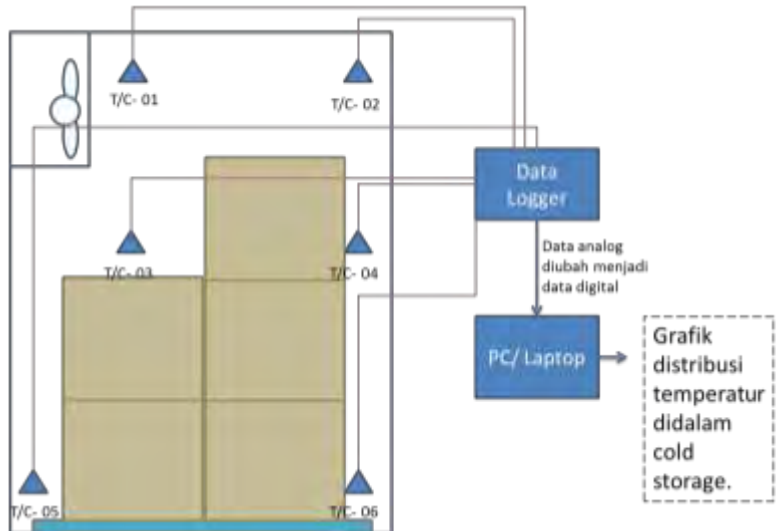


Gambar 4. 26 Skema penempatan T/C

Dapat dilihat pada gambar diatas bahwa Titik 0 diletakkan dibagian belakang atas dari *cold storage*, titik 1 diletakkan di sisi kanan tengah, titik 2 diletakkan di sisi kiri tengah, titik 3 diletakkan dibawah rak kargo didalam *cold storage*. kemudian titik 4 dan 5 diletakkan didalam daging buah pisang, namun bedanya adalah titik 5 berada didalam kardus sedangkan titik 4 berada diluar kardus, titik 6 diletakkan didalam kardus yang diletakkan di rak paling bawah, dan yang terakhir titik 7 diletakkan tepat di keluaran *evaporator*.

4.7.4 Penyetelan *Data Logger*

Pada sub bab 4.4 mengenai skema pengambilan data telah sedikit dijelaskan mengenai fungsi dari *data logger*. *Data logger* berfungsi untuk mengkonversi data *analog* menjadi data *digital*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.27 mengenai skema proses pengambilan data.



Gambar 4. 27 Skema pengambilan data

Setelah *thermocouple* ditempatkan di beberapa titik sesuai perencanaan, *thermocouple* dihubungkan dengan *data logger*. Pada percobaan ini digunakan *data logger lab jack T7 Pro*. Data *analog* berupa suhu yang terbaca dari *thermocouple* dikirimkan ke *data logger* yang kemudian diubah menjadi data *digital* yang diterima melalui komputer (PC)/ laptop.

Setelah *data logger* dihubungkan dengan laptop atau pc, maka perlu dilakukan beberapa konfigurasi agar *data logger* dapat membaca dan menyimpan data yang dihasilkan oleh *thermocouple*. Berikut ini langkah konfigurasi yang harus dilakukan:

1. Hubungkan *thermocouple* dengan *data logger*. Pada *data logger* terdapat beberapa slot untuk *thermocouple*. Misalnya AIN 0 hingga AIN 4 berarti *data logger* hanya dapat digunakan untuk membaca maksimal 5 *thermocouple*. Pastikan seluruh kabel *thermocouple*

terpasang dengan benar pada *data logger* sehingga data yang didapatkan bisa lebih akurat.



Gambar 4. 28 *Data logger* dengan T/C

2. Hubungkan *data logger* dengan PC dengan menggunakan kabel USB atau dengan menggunakan sinyanya WIFI. Setelah *data logger* terbaca oleh PC maka pilih koneksi sesuai keinginan dari user, misalnya saja pilihan koneksi dengan menggunakan USB setelah terlebih dahulu menjalankan aplikasi kipling. Lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 4. 29 Pemilihan konektifitas

3. Setelah *data logger* terhubung dengan PC dengan benar, maka akan muncul gambar berikut pada aplikasi kipling untuk *data logger labjack T7 Pro*:



Gambar 4. 30 Notifikasi Koneksi

Langkah selanjutnya adalah melakukan pengaturan *analog input* kemudian atur satuan suhu dan pilih *thermocouple* tipe k. Pilih sesuai dengan jumlah *thermocouple* yang terpasang pada *data logger*. Lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4. 31 Pengaturan *analog input*

4. Langkah terakhir adalah membuka aplikasi LJ LogM untuk mendukung kinerja dari *data logger lab jack T7 Pro*. Pada aplikasi ini diaktifkan *thermocouple* sesuai dengan jumlah yang digunakan. Kemudian pada aplikasi ini juga dapat dilihat grafik perubahan *suhu* pada titik yang telah ditentukan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 4. 32 Pembacaan Suhu

5. Setelah dilakukan pengambilan data sesuai dengan rentan waktu yang ditentukan, data yang telah di simpan dalam PC dapat dibuka melalui aplikasi *Microsoft excel* untuk diolah sesuai dengan kebutuhan percobaan.

4.7.5 Kalibrasi *Thermocouple*

Sebelum percobaan dapat dilakukan, terlebih dahulu harus dipastikan bahwa *thermocouple* yang digunakan dapat membaca suhu dengan akurat. Jika memang terdapat *error* maka harus diketahui seberapa besar *error* tersebut sehingga analisa yang didapatkan bisa lebih akurat. Proses kalibrasi dapat dilihat pada gambar 4.33.



Gambar 4. 33 Proses Kalibrasi T/C

Seperti terlihat pada gambar diatas, kalibrasi *thermocouple* dilakukan dengan menggunakan bongkahan es batu. *Thermocouple* diapit diantara kedua bongkahan es batu dan dibaca dengan menggunakan *data logger*. Seperti telah diketahui bahwa suhu es adalah 0°C sehingga pada pembacaan dengan menggunakan *thermocouple* harus terbaca sesuai dengan nilai tersebut.

Setelah dilakukan kalibrasi diketahui hasil pembacaan suhu es dengan menggunakan *thermocouple* dan *data logger* adalah 3.5°C . Sehingga dari proses kalibrasi ini dapat diketahui nilai *error* pada pembacaan suhu dengan *thermocouple* adalah 3.5°C . Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut:

Configure All Inputs

Channel	Input Type	Input Value	Input Unit	Input Range	Input Resolution
AN0	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN1	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN2	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN3	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN4	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN5	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN6	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN7	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN8	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN9	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN10	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN11	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN12	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN13	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN14	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN15	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN16	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN17	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN18	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN19	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN20	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN21	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN22	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN23	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN24	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN25	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN26	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN27	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN28	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN29	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN30	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN31	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN32	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN33	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN34	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN35	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN36	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN37	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN38	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN39	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN40	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN41	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN42	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN43	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN44	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN45	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN46	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN47	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN48	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN49	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN50	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN51	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN52	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN53	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN54	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN55	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN56	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN57	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN58	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN59	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN60	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN61	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN62	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN63	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN64	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN65	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN66	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN67	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN68	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN69	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN70	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN71	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN72	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN73	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN74	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN75	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN76	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN77	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN78	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN79	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN80	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN81	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN82	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN83	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN84	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN85	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN86	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN87	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN88	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN89	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN90	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN91	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN92	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN93	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN94	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN95	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN96	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN97	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN98	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN99	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000
AN100	0.000000 V	0.000000	V	0.000000	0.000000

Gambar 4. 34 Pembacaan suhu pada T/C

4.8 Pengambilan Data

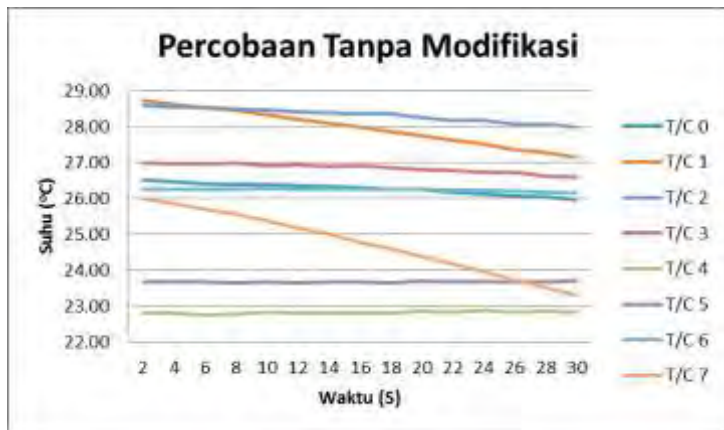
4.8.1 Percobaan Tanpa Modifikasi

Pada percobaan ini, udara yang dihembuskan oleh *evaporator* telah dimodifikasi sehingga *flowrate*-nya berkurang sesuai kebutuhan dari *cold storage*. Akan tetapi sirkulasi aliran udara setelah dihembuskan tidak diarahkan atau dengan kata lain udara dibiarkan bergerak bebas sehingga percobaan ini disebut dengan percobaan tanpa modifikasi. Kondisi ini merupakan kondisi yang banyak diaplikasikan baik untuk skala industri maupun skala rumah tangga. Pada percobaan ini digunakan muatan/ kargo berupa buah pisang yang dijaga suhunya pada suhu 12 hingga 16 derajat *celcius*. Sehingga pada panel *cold storage* diatur pada suhu 14°C dengan differensial suhu sebesar 2°C. Data suhu dibaca setiap 2 detik hingga distribusi suhu didalam *cold storage* merata. Adapun beberapa *sample* data yang didapatkan dari percobaan tanpa modifikasi dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 4. 3 *Sample* data hasil percobaan tanpa modifikasi

waktu	T/C 0	T/C 1	T/C 2	T/C 3	T/C 4	T/C 5	T/C 6	T/C 7
2	26.51	28.72	28.60	26.99	22.79	23.67	26.26	25.99
4	26.46	28.63	28.54	26.97	22.80	23.66	26.27	25.87
6	26.42	28.52	28.56	26.97	22.75	23.67	26.26	25.71
8	26.40	28.47	28.48	26.99	22.77	23.65	26.25	25.58
10	26.37	28.34	28.47	26.92	22.82	23.67	26.27	25.39
12	26.36	28.21	28.42	26.93	22.80	23.66	26.26	25.18
14	26.33	28.11	28.40	26.90	22.80	23.67	26.25	25.00
16	26.31	27.99	28.36	26.92	22.82	23.67	26.25	24.79
18	26.25	27.87	28.36	26.85	22.80	23.64	26.25	24.60
20	26.25	27.76	28.26	26.81	22.85	23.69	26.26	24.38
22	26.18	27.63	28.18	26.79	22.82	23.69	26.22	24.18
24	26.13	27.51	28.17	26.73	22.88	23.68	26.23	23.96
26	26.07	27.37	28.07	26.72	22.82	23.67	26.19	23.72
28	26.04	27.27	28.07	26.63	22.85	23.69	26.17	23.53
30	25.96	27.15	27.98	26.60	22.83	23.70	26.16	23.30

Sample data pada tabel 4.3 tersebut merupakan data hasil percobaan yang diambil pada 1 menit pertama. Seperti dijelaskan sebelumnya bahwa pada percobaan digunakan interval waktu selama 2 detik sehingga didapatkan 30 data selama 1 menit percobaan. Berdasarkan tabel percobaan dapat dibuat sebuah grafik seperti terlihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 4. 35 Grafik *sample* percobaan

4.8.2 Percobaan dengan Modifikasi Barrier Bulkhead

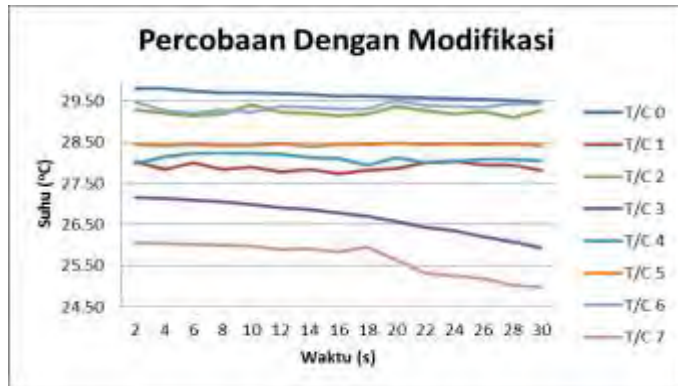
Jika pada percobaan pertama dilakukan tanpa modifikasi, maka percobaan kedua ini dilakukan dengan menggunakan modifikasi *barrier bulkhead*. Pada percobaan ini, udara yang dihembuskan oleh *evaporator* telah dimodifikasi sehingga *flowrate*-nya berkurang sesuai kebutuhan dari *cold storage* seperti dijelaskan pada sub bab sebelumnya mengenai perhitungan kebutuhan *flow rate*. Udara yang telah melalui modifikasi *evaporator* ini dialirkan melalui saluran (*ducting*) persegi empat hingga udara dingin tersebut berhembus melalui bagian bawah dan mendinginkan muatan/ kargo dari bawah.

Sama halnya dengan percobaan tanpa modifikasi, pada percobaan ini digunakan muatan/ kargo berupa buah pisang yang dijaga suhunya pada suhu 12 hingga 16 derajat celcius. Sehingga pada panel *cold storage* diatur pada suhu 14°C dengan differensial suhu sebesar 2°C. Data suhu dibaca setiap 2 detik hingga distribusi suhu didalam *cold storage* merata. Adapun beberapa *sample* data yang didapatkan dari percobaan dengan modifikasi *barrier bulkhead* dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 4.4 *Sample* data percobaan modifikasi *barrier bulkhead*

waktu	T/C 0	T/C 1	T/C 2	T/C 3	T/C 4	T/C 5	T/C 6	T/C 7
2	29.81	28.03	29.29	27.16	27.99	28.43	29.48	26.06
4	29.81	27.84	29.20	27.15	28.15	28.42	29.27	26.05
6	29.74	28.01	29.14	27.10	28.24	28.44	29.21	26.02
8	29.70	27.85	29.19	27.05	28.24	28.42	29.28	26.00
10	29.71	27.91	29.42	26.99	28.24	28.42	29.23	25.99
12	29.68	27.78	29.24	26.92	28.22	28.46	29.36	25.89
14	29.67	27.84	29.21	26.87	28.13	28.39	29.35	25.92
16	29.61	27.75	29.14	26.78	28.12	28.44	29.31	25.84
18	29.62	27.82	29.18	26.70	27.94	28.44	29.32	25.97
20	29.61	27.86	29.38	26.57	28.13	28.48	29.52	25.66
22	29.57	28.01	29.27	26.43	28.01	28.45	29.40	25.32
24	29.55	28.04	29.19	26.34	28.03	28.46	29.38	25.25
26	29.54	27.95	29.24	26.22	28.09	28.44	29.36	25.20
28	29.52	27.95	29.10	26.08	28.09	28.47	29.43	25.03
30	29.47	27.83	29.27	25.94	28.06	28.42	29.44	24.98

Sample data pada tabel 4.4 tersebut merupakan data hasil percobaan yang diambil pada 1 menit pertama. Seperti dijelaskan sebelumnya bahwa pada percobaan digunakan interval waktu selama 2 detik sehingga didapatkan 30 data selama 1 menit percobaan. Berdasarkan tabel percobaan dapat dibuat sebuah grafik seperti terlihat pada gambar 4. 36.



Gambar 4. 36 Sample data pada percobaan dengan modifikasi *barrier bulkhead*

4.8.3 Percobaan dengan Modifikasi *Circular Ducting*

Percobaan kedua ini dilakukan dengan menggunakan modifikasi *circular ducting*. Pada percobaan ini, udara yang dihembuskan oleh *evaporator* telah dimodifikasi sehingga *flowrate*-nya berkurang sesuai kebutuhan dari *cold storage* seperti dijelaskan pada sub bab sebelumnya mengenai perhitungan kebutuhan *flow rate*. Udara yang telah melalui modifikasi *evaporator* ini dialirkan melalui saluran (*circular ducting*) berupa pipa pvc yang memiliki empat cabang disetiap sisinya dan 6 lubang disetiap cabang sehingga udara dingin tersebut berhembus melaui sisi- sisi *cold storage* dan mendinginkan muatan/ kargo dari atas hingga bawah.

Sama halnya dengan dua percobaan sebelumnya yaitu percobaan tanpa modifikasi dan dengan modifikasi, pada percobaan ini digunakan muatan/ kargo berupa buah pisang yang dijaga suhunya pada suhu 12 hingga 16 derajat celcius. Sehingga pada panel *cold storage* diatur pada suhu 14°C dengan differensial suhu sebesar 2°C. Data suhu dibaca setiap 2 detik hingga distribusi suhu didalam *cold storage* merata. Adapun beberapa *sample data* yang didapatkan dari

percobaan dengan modifikasi *barrier bulkhead* dapat dilihat pada tabel berikut ini:

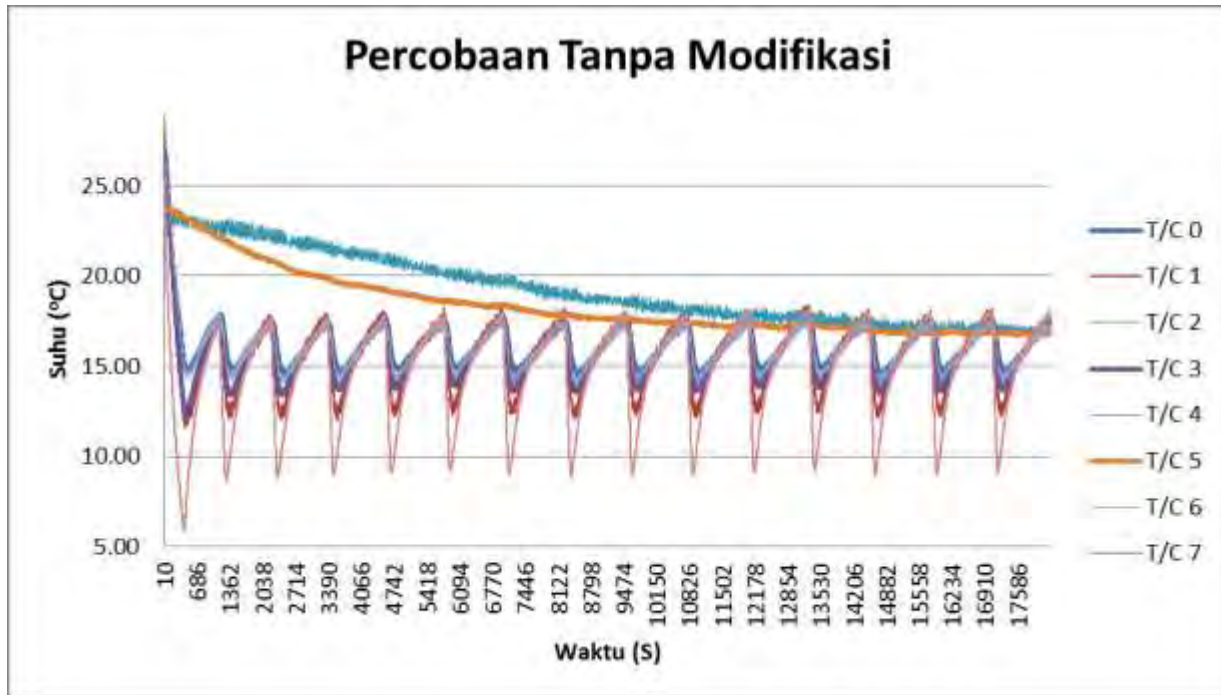
Tabel 4. 5 Sample data percobaan modifikasi *circular ducting*

waktu	T/C 0	T/C 1	T/C 2	T/C 3	T/C 4	T/C 5	T/C 6
2	25.49	28.11	27.16	26.32	28.58	29.13	26.97
4	25.50	25.25	26.33	26.33	27.14	27.93	27.54
6	25.60	26.65	26.28	26.30	26.99	28.88	29.14
8	25.60	26.16	26.35	26.27	27.02	28.45	29.17
10	25.62	26.49	26.30	26.23	27.07	28.65	29.30
12	25.61	26.83	26.44	26.20	27.38	29.15	28.68
14	25.70	26.32	26.62	26.08	27.25	28.12	28.27
16	25.80	25.75	26.56	25.95	27.12	28.03	27.65
18	25.78	25.60	26.12	26.37	26.78	28.29	28.09
20	25.83	26.21	27.27	26.27	27.82	27.87	27.56
22	25.85	26.25	27.19	26.22	28.24	28.23	27.54
24	25.86	27.83	27.92	26.20	29.35	28.69	27.46
26	25.89	26.47	27.50	26.11	28.42	27.93	27.54
28	25.88	28.14	27.37	26.13	29.15	29.08	27.53
30	25.87	28.35	27.66	26.25	29.25	28.76	27.55

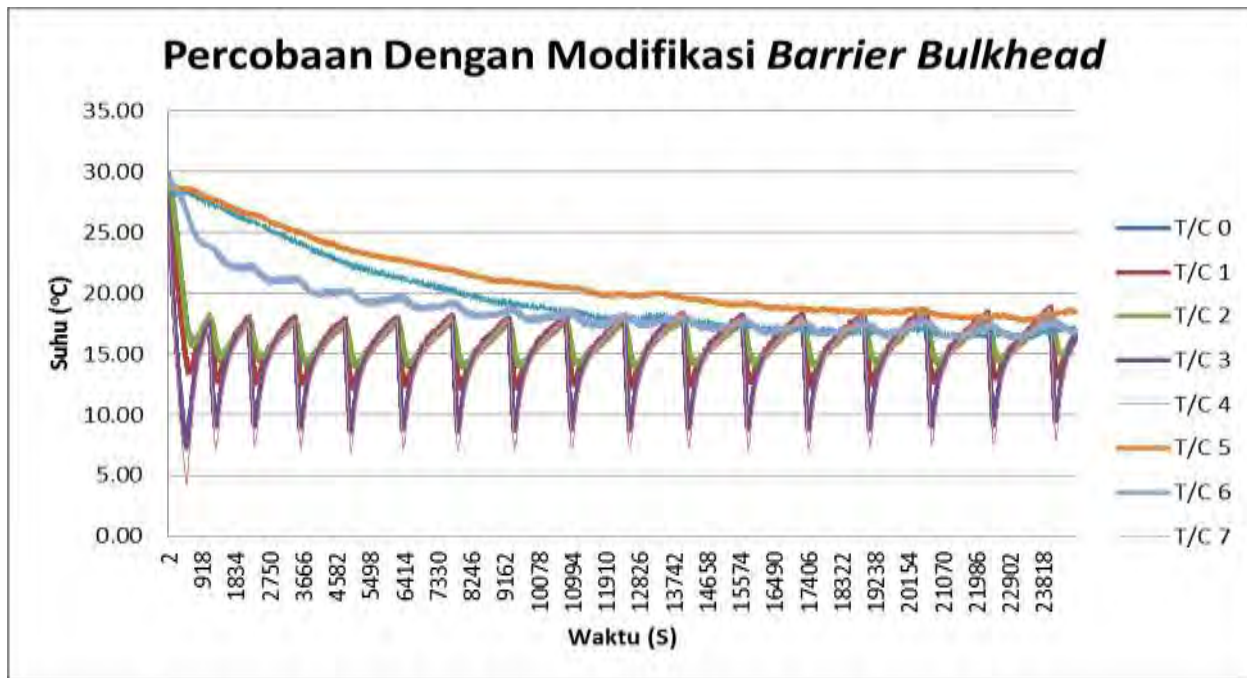
4.9 Analisa dan Pembahasan

4.9.1 Hasil Percobaan

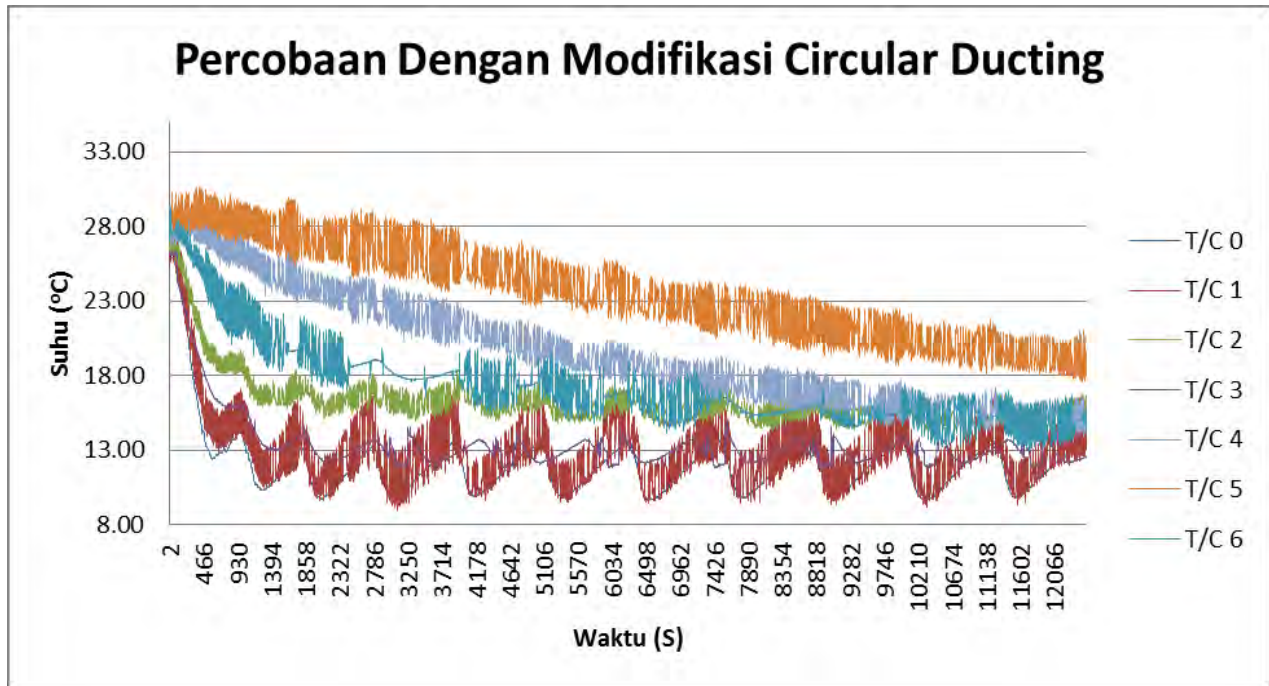
Percobaan tanpa modifikasi dan dengan modifikasi dilakukan selama kurang lebih 5 jam untuk mendapatkan data distribusi suhu yang dihasilkan didalam *cold storage*. Muatan/ kargo berupa buah pisang yang dijaga suhunya pada suhu 12 hingga 16 derajat celcius. Sehingga pada panel *cold storage* diatur pada suhu 14°C dengan differensial suhu sebesar 2°C. Data suhu dibaca setiap 2 detik. Dari hasil percobaan didapatkan data yang berisi mengenai pembacaan suhu setiap dua detik. Grafik hasil percobaan dapat dilihat pada gambar 4.37, 4.38, dan 4.39.



Gambar 4. 37 Grafik Hasil Percobaan Ke- 1



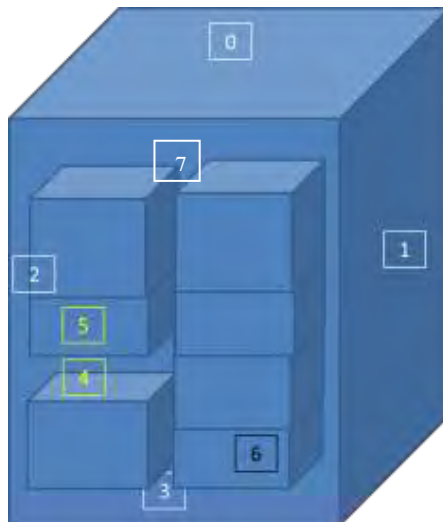
Gambar 4. 38 Grafik Hasil Percobaan Ke- 2



Gambar 4. 39 Grafik Hasil Percobaan Ke- 3

Sebelum pembahasan dilakukan, untuk memudahkan pengamatan terlebih dahulu perlu diketahui posisi atau penempatan *thermocouple* didalam *cold storage*. Seperti dilihat pada grafik percobaan tanpa modifikasi terdapat keterangan T/C yang berarti *thermocouple*. Sedangkan keterangan angka setelahnya menunjukkan kode urut *thermocouple* untuk memudahkan dalam mengingat posisi *thermocouple*.

Titik 0 diletakkan dibagian belakang atas dari *cold storage*, titik 1 diletakkan di sisi kanan tengah, titik 2 diletakkan di sisi kiri tengah, titik 3 diletakkan dibawah rak kargo didalam *cold storage*. Kemudian titik 4 dan 5 diletakkan didalam daging buah pisang, namun bedanya adalah titik 5 berada didalam kardus sedangkan titik 4 berada diluar kardus, titik 6 diletakkan didalam kardus yang diletakkan di rak paling bawah, dan yang terakhir titik 7 diletakkan tepat di keluaran *evaporator*.



Gambar 4. 40 Posisi *thermocouple* di dalam *cold storage*

Pada grafik percobaan tanpa modifikasi, dapat dilihat nilai fluktuasi suhu didalam *cold storage* selama percobaan dilakukan. T/C (*thermocouple*) 0 sampai 3 menunjukkan grafik fluktuasi yang hampir sama. Hal ini disebabkan karena penempatan titik didalam *cold storage* yang cenderung berada pada posisi yang simetri di sekitar dinding *cold storage* sehingga distribusi pada titik – titik penempatan *thermocouple* ini hampir sama. T/C 4 dan T/C 5 merupakan *thermocouple* yang dimasukkan kedalam daging buah untuk mengetahui suhu dari buah (kargo) tersebut. Kedua *thermocouple* ini juga menunjukkan pergerakan fluktuasi suhu yang hampir sama karena posisinya yang sama- sama di dalam buah. Dan yang terakhir adalah T/C 7 yang menunjukkan suhu paling rendah jika dibandingkan dengan titik – titik *thermocouple* lainnya. T/C 7 ditempatkan didekat keluaran udara pendingin yang berhembus ke ruang didalam *cold storage*, sehingga suhu yang terbaca melalui *thermocouple* menjadi paling rendah jika dibandingkan dengan *thermocouple* lainnya.

Pada grafik percobaan dengan menggunakan modifikasi, dapat dilihat nilai fluktuasi suhu didalam *cold storage* selama percobaan dilakukan. Fluktuasi suhu ini disebabkan oleh beberapa faktor, dan salah satu faktor utamanya adalah karena posisi penempatannya.

T/C (*thermocouple*) 0 sampai 3 menunjukkan grafik fluktuasi yang hampir sama. Hal ini disebabkan karena penempatan titik didalam *cold storage* yang cenderung berada pada posisi yang simetri di sekitar dinding *cold storage* sehingga distribusi pada titik – titik penempatan *thermocouple* ini hampir sama. T/C 4 dan T/C 5 merupakan *thermocouple* yang dimasukkan kedalam daging buah untuk mengetahui suhu dari buah (kargo) yang menunjukkan pergerakan fluktuasi suhu yang hampir sama karena posisinya yang sama- sama di dalam

buah. Dan yang terakhir adalah T/C 7 yang menunjukkan suhu paling rendah jika dibandingkan dengan titik – titik *thermocouple* lainnya. T/C 7 ditempatkan didekat keluaran udara pendingin yang berhembus ke ruang didalam *cold storage*, sehingga suhu yang terbaca melalui *thermocouple* menjadi paling rendah jika dibandingkan dengan *thermocouple* lainnya.

Pada grafik percobaan dengan modifikasi *circular ducting*, dapat dilihat nilai fluktuasi suhu didalam *cold storage* selama percobaan dilakukan. T/C (*thermocouple*) 0 sampai 3 menunjukkan grafik fluktuasi yang hampir sama. Hal ini disebabkan karena penempatan titik didalam *cold storage* yang cenderung berada pada posisi yang simetri di sekitar dinding *cold storage* sehingga distribusi pada titik – titik penempatan *thermocouple* ini hampir sama. T/C 4 dan T/C 5 merupakan *thermocouple* yang dimasukkan kedalam daging buah untuk mengetahui suhu dari buah (kargo) yang menunjukkan pergerakan fluktuasi suhu yang hampir sama karena posisinya yang sama- sama di dalam buah. Sedangkan T/C 6 menunjukkan nilai yang lebih rendah dari T/C 4 dan T/C 5 karena titik ini mengukur suhu di dalam *box*, bukan daging buah.

4.9.2 Analisa

Berdasarkan grafik hasil percobaan dapat dilakukan beberapa analisa. Berikut detail pembahasannya:

1. Pemerataan Suhu Didalam Cold Storage

Berdasarkan hasil percobaan, untuk mendapatkan pemerataan suhu 12 – 14°C didalam ruang *cold storage* termasuk didalam kardus buah maupun pada daging buah itu sendiri, hasil percobaan tanpa modifikasi menunjukan hasil yang lebih baik jika dibandingkan dengan percobaan dengan modifikasi *barrier bulkhead*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 4. 6 Data hasil modifikasi *barrier bulkhead*

Waktu (s)	T/C 0	T/C 1	T/C 2	T/C 3	T/C 4	T/C 5	T/C 6	T/C 7
18684	13.90	14.03	13.65	14.06	13.61	14.98	13.65	13.98
18686	13.91	13.95	13.70	14.07	13.44	14.98	13.66	13.98
18688	13.90	13.88	13.68	14.09	13.34	14.99	13.62	13.98
18690	13.91	13.99	13.68	14.12	13.28	14.98	13.64	14.10
18692	13.92	13.92	13.72	14.16	13.24	14.98	13.69	14.11

Tabel 4. 7 Data percobaan tanpa modifikasi

Waktu (s)	T/C 0	T/C 1	T/C 2	T/C 3	T/C 4	T/C 5	T/C 6	T/C 7
9472	13.76	14.41	13.84	13.85	14.99	14.12	13.77	14.10
9474	13.75	13.96	13.87	13.84	15.07	14.12	13.64	14.22
9476	13.79	14.13	13.87	13.91	15.03	14.12	13.71	14.43
9478	13.73	14.17	13.86	13.92	14.92	14.09	13.67	14.44
9480	13.78	14.22	13.86	13.88	15.28	14.14	13.52	14.26

Dapat dilihat pada tabel di atas bahwa penyebaran suhu mulai merata pada seluruh titik peletakan *thermocouple* didalam *cold storage* pada waktu yang berbeda untuk kedua percobaan. Penyebaran suhu dianggap mulai merata setelah setiap titik peletakan *thermocouple* membaca suhu kurang lebih 14°C. Pada saat percobaan dengan modifikasi, dibutuhkan waktu lebih lama untuk mencapai suhu yang merata didalam *cold storage*, kardus buah, maupun pada buah jika dibandingkan dengan percobaan tanpa modifikasi *barrier bulkhead*. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai pemerataan suhu pada saat menggunakan modifikasi *barrier bulkhead* adalah selama 18684 detik atau kurang lebih selama 5.19 jam, sedangkan ketika percobaan dilakukan tanpa modifikasi hanya membutuhkan waktu 9472 detik atau kurang lebih sekitar 2.63 jam saja.

Berdasarkan data yang telah didapatkan, maka dapat disimpulkan bahwa kondisi pendinginan tanpa modifikasi menghasilkan distribusi pendinginan yang lebih efektif jika dibandingkan dengan pendinginan didalam *cold storage* dengan menggunakan modifikasi.

2. Pendinginan pada kargo

Pada percobaan ini digunakan muatan/ kargo berupa buah pisang. Untuk menjaga kualitas dari buah pisang, suhu ruang pendingin harus dijaga pada suhu antara 12°C hingga 14°C. Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan, dapat menganalisa dua hal mengenai pendinginan kargo.

a. Pendinginan Muatan Dengan dan Tanpa Box.

Analisa yang dilakukan pada pendinginan muatan dengan *box* dan pendinginan muatan tanpa *box* adalah dengan cara membandingkan waktu yang dibutuhkan antara keduanya (dengan *box* dan tanpa *box*) untuk mencapai suhu ideal pendinginan buah yaitu 14 °C. Analisa dilakukan berdasarkan dari data hasil percobaan yang telah dilakukan. Berdasarkan data hasil percobaan didapatkan bahwa pendinginan langsung terhadap buah tanpa menggunakan *box* akan lebih cepat jika dibandingkan pendinginan dengan menggunakan *box*. Hal ini terjadi pada kedua variasi percobaan, baik pada percobaan tanpa modifikasi maupun dengan modifikasi. Lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar grafik 4.37 dan 4.38.

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa T/C 4 dan T/C 5 menunjukkan fluktuasi suhu yang hampir sama. Namun T/C 5 sedikit lebih lama mendapat pendinginan akibat adanya hambatan dari dinding kardus sehingga pendinginan muatan danpa kardus akan lebih cepat menghasilkan suhu ideal dibandingkan dengan muatan didalam kardus.

b. Pendinginan Muatan Dengan dan Tanpa Modifikasi

Analisa yang dilakukan pada pendinginan muatan dengan modifikasi dan pendinginan muatan tanpa modifikasi adalah dengan cara membandingkan waktu yang dibutuhkan antara kedua percobaan untuk mencapai suhu ideal pendinginan buah yaitu 14 °C. Analisa dilakukan berdasarkan dari data hasil percobaan yang telah dilakukan. Selama proses pengambilan data, pendinginan pada muatan membutuhkan waktu yang lebih lama jika dibandingkan dengan waktu yang dibutuhkan untuk pendinginan pada ruang *cold storage*. Namun berdasarkan hasil percobaan yang telah dilakukan, didapatkan hasil percobaan tanpa modifikasi lebih baik untuk mendinginkan muatan baik didalam kardus maupun diluar kardus jika dibandingkan dengan pendinginan dengan menggunakan modifikasi *barrier bulkhead* untuk mengubah sirkulasi *air flow*.

Pada tabel 4.6 dan 4.7 dapat dilihat waktu yang dibutuhkan oleh T/C 4 dan T/C 5 (*thermocouple* pada buah tanpa *box* dan dengan *box*). Waktu yang dibutuhkan *thermocouple* untuk mencapai suhu pendinginan ideal untuk buah (14°C) ketika menggunakan modifikasi *barrier bulkhead* adalah selama 18684 detik atau kurang lebih selama 5.19 jam, sedangkan ketika percobaan dilakukan tanpa modifikasi hanya membutuhkan waktu 9472 detik atau kurang lebih sekitar 2.63 jam saja.

3. Pendinginan di dalam *box*

Analisa yang dilakukan pada pendinginan yang terjadi didalam *box* adalah dengan cara membandingkan waktu yang dibutuhkan antara kedua percobaan untuk mencapai suhu ideal pendinginan pada percobaan ini yaitu 14 °C. Analisa dilakukan berdasarkan dari data hasil percobaan yang telah dilakukan seperti terlihat pada tabel berikut ini:

Tabel 4. 8 Suhu *box* tanpa modifikasi

Waktu (s)	T/C 0	T/C 1	T/C 2	T/C 3	T/C 4	T/C 5	T/C 6	T/C 7
292	14.51	12.28	13.21	12.84	19.34	19.98	14.81	5.89
294	14.46	12.19	13.17	12.78	19.53	19.94	14.79	5.83
296	14.43	11.94	13.11	12.69	19.87	20.01	14.62	5.66
298	14.40	12.05	12.96	12.59	20.02	19.97	14.42	5.59
300	14.32	11.87	12.94	12.57	19.49	19.95	14.52	5.57

Tabel 4. 9 Suhu *box* dengan modifikasi

Waktu (s)	T/C 0	T/C 1	T/C 2	T/C 3	T/C 4	T/C 5	T/C 6	T/C 7
8070	10.41	9.61	10.55	8.75	16.30	18.06	14.97	7.81
8072	10.42	9.64	10.61	8.74	16.30	18.08	14.93	7.87
8074	10.40	9.64	10.69	8.77	16.20	18.07	14.97	7.85
8076	10.45	9.71	10.64	8.81	16.20	18.08	14.95	7.94
8078	10.40	9.71	10.74	8.85	16.22	18.08	14.94	7.95

Berdasarkan tabel diatas dapat dilihat nilai suhu udara didalam *box*, baik sebelum dilakukan modifikasi maupun setelah dilakukan modifikasi. Jika dilihat berdasarkan waktu, percobaan pada kondisi tanpa modifikasi membutuhkan waktu jauh lebih cepat untuk mencapai suhu 14°C didalam kardus jika disbandingkan dengan kondisi saat percobaan dengan modifikasi. Pada saat percobaan tanpa modifikasi hanya dibutuhkan waktu selama 292 detik saja untuk menghasilkan suhu 14°C didalam *box* buah, sedangkan pada kondisi percobaan dengan modifikasi membutuhkan waktu hingga 8072

detik atau kurang lebih sama dengan 2.24 jam. Berdasarkan hal ini dapat disimpulkan bahwa kondisi pendinginan tanpa modifikasi menghasilkan pendinginan yang lebih cepat kedalam *box* buah jika dibandingkan dengan kondisi dengan modifikasi.

4. Pendinginan Dengan Modifikasi *Circular Ducting*

a. Pendinginan Muatan

Analisa yang dilakukan pada pendinginan muatan dengan *box* dan pendinginan muatan tanpa *box* dilakukan dengan cara membandingkan antara waktu yang dibutuhkan antara keduanya (dengan *box* dan tanpa *box*) untuk mencapai suhu ideal pendinginan buah yaitu 14 °C. Berdasarkan data hasil percobaan didapatkan bahwa pendinginan langsung terhadap buah tanpa menggunakan *box* akan lebih cepat jika dibandingkan pendinginan dengan menggunakan *box* seperti terlihat pada grafik hasil percobaan. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa T/C 4 dan T/C 5 menunjukkan fluktuasi suhu yang hampir sama. Namun T/C 5 sedikit lebih lama mendapat pendinginan akibat adanya hambatan dari dinding kardus sehingga pendinginan muatan tanpa kardus akan lebih cepat menghasilkan suhu ideal dibandingkan dengan muatan didalam kardus.

b. Pemerataan Suhu Di Dalam *Cold Storage*

Berdasarkan hasil percobaan, untuk mendapatkan pemerataan suhu 12 – 14°C didalam ruang *cold storage* termasuk didalam kardus buah maupun pada daging buah itu sendiri dibutuhkan waktu 14624 detik atau kurang lebih 4 jam. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 4.10.

Tabel 4. 10 Data distribusi suhu pada percobaan ke- 3

waktu	T/C 0	T/C 1	T/C 2	T/C 3	T/C 4	T/C 5	T/C 6
14616	11.7	14	15	13.3	14.6	18.4	13.2
14618	11.8	14.1	14.7	13.1	14	18.9	13.9
14620	11.8	13.6	14.6	13.3	13.8	18.8	14.6
14622	11.8	12.8	14.4	13	13.6	18.5	15.2
14624	11.7	11.4	14.9	12.8	14.1	16.7	13.2

Berdasarkan data diatas dapat diketahui bahwa waktu yang dibutuhkan untuk mencapai pemerataan suhu didalam *cold storage* pada kondisi dengan modifikasi *circular ducting* cukup lama. Hal ini disebabkan karena pada percobaan ini *flowrate* yang digunakan relatif rendah sehingga memperlambat proses pendinginan didalam *cold storage*.

c. Pendinginan Di Dalam Box

Berdasarkan hasil percobaan, diketahui waktu yang dibutuhkan untuk mendapatkan suhu 12 – 14°C didalam *box* (kardus buah) adalah 4180 detik atau kurang lebih 1.1 jam. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 4.11.

Tabel 4. 11 Data suhu *box* pada percobaan ke-3

waktu	T/C 0	T/C 1	T/C 2	T/C 3	T/C 4	T/C 5	T/C 6
4178	9.97	12.5	16.3	13.6	21.1	26.9	17.3
4180	9.91	12	16.8	13.6	21.9	26.1	16.7
4182	9.95	11.6	17	13.6	22	25.4	16.7
4184	9.94	11.2	17.2	13.6	22.1	25.1	16.1
4186	9.89	10.2	16.8	13.6	21.5	24.5	16.4
4188	9.9	10.1	16.6	13.6	20.9	24.4	16.7

Berdasarkan tabel diatas dapat dilihat bahwa pendinginan kedalam *box* membutuhkan waktu yang cukup lama. Hal ini disebabkan karenan rendahnya *flowrate* yang dihembuskan pada kondisi percobaan *circular ducting*.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari perancangan dan percobaan modifikasi *barrier bulkhead* dengan dimensi 3.62 x 0.1 x 0.41 meter dan *circular ducting* dengan pipa pvc berdiameter 4cm dan empat cabang dengan 6 luang berdiameter 1.5 cm pada masing- masing sisi yang telah dilakukan pada *cold storage* yang ada di *workshob* lab MMS, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan:

1. Penyebaran suhu secara merata didalam *cold storage* dengan menggunakan modifikasi *barrier bulkhead* bisa dicapai dalam waktu sekitar 5.19 jam, sedangkan jika tanpa modifikasi hanya sekitar 2.63 jam saja. Sehingga dapat disimpulkan bahwa distribusi penyebaran suhu secara merata di dalam *cold storage workshob* lab MMS dengan dimensi 1 x 1.25 x 2.3 meter lebih efektif dihasilkan oleh kondisi pendinginan tanpa menggunakan modifikasi mengingat masih belum sempurna hasil modifikasi.
2. Pendinginan pada muatan tanpa dibungkus *box* lebih cepat jika dibandingkan dengan pendinginan muatan didalam *box* pada semua kondisi percobaan. Sedangkan pendinginan muatan (buah pisang) didalam *box* lebih efektif dilakukan pada kondisi tanpa modifikasi. Waktu yang dibutuhkan hanya 292 detik saja untuk menghasilkan suhu 14°C didalam *box* buah, sedangkan pada kondisi modifikasi membutuhkan waktu hingga 8072 detik atau kurang lebih sama dengan 2.24 jam.

5.2 Saran

Berdasarkan dari perancangan dan percobaan yang telah dilakukan pada *cold storage* yang ada di *workshob* lab MMS, maka dapat diberikan beberapa saran:

1. Penelitian ini bisa dilanjutkan dengan menggunakan cold storage dengan dimensi yang lebih besar.
2. Desain modifikasi sirkulasi aliran udara pendingin bisa di kembangkan lagi untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

Kumar, Krishna. 2011. *Supply chain management of perishable materials (cauliflower) during monsoon season*.

Refsgaard, Brian., 2004. *Air Distribution in Cold Stores*, <URL>: http://www.fabricair.com/net/Documents/technical_articles/dragbaek.asp

Cole, Ronald A. 2005. *Cold Storage Warehouses*. Seattle, Washington.

Sylvester B. Severson, Rice Lake, Wis. 1983. *Corrugated Air Return Bulkhead*. United States.

Reefer Guide, Hamburg SUD

Anonim1, -, **Conversion Chart Velocity Pressure In Inches Of Water To Velocity In Feet Per Minute** , <URL>: http://www.airmonitor.com/pdfs/industrial_public/brochures/BR_O_Conversion_Chart.pdf. Diunduh : 3 july 2015.

Anonim2, -, **Friction Loss**, <URL>: <http://www.engineeringtoolbox.com>. Diakses: 3 july 2015.

Anonim3, -, **Air Dencity and Specific Weight**, <URL>: <http://www.engineeringtoolbox.com>. Diakses: 3 july 2015.

Daikin New 40ft Reefer Container. **Brosur Spesifikasi Reefer Container**.

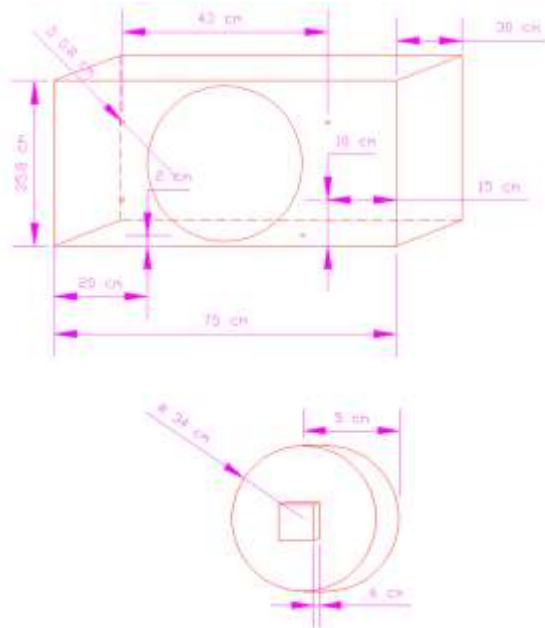
Corp, Dynalab., -, **Plastic Properties Of Polyvinylchloride (PVC)**, <URL>: http://dynalabcorp.com/technical_info_pvc.asp. Diunduh: 23 Maret 2015.

O.J Ikegwu., and F.C Ekwu., 2009. “**Thermal And Physical Properties Of Some Tropical Fruits And Their Juices In Negeria**”.*Journal of food technology* 7 (2): 38-42,2009.

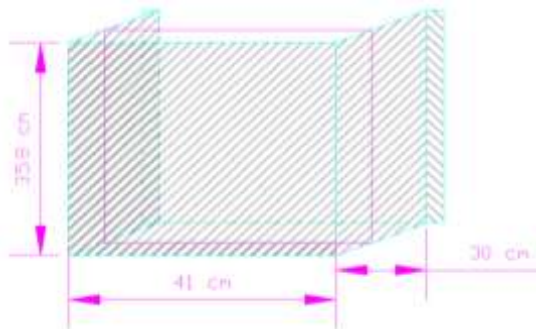
Kreider, Jan F. 2001. **Handbook Of Heating, Ventilation And Air Conditioning**. Boca raton : CRC Press LLC.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN



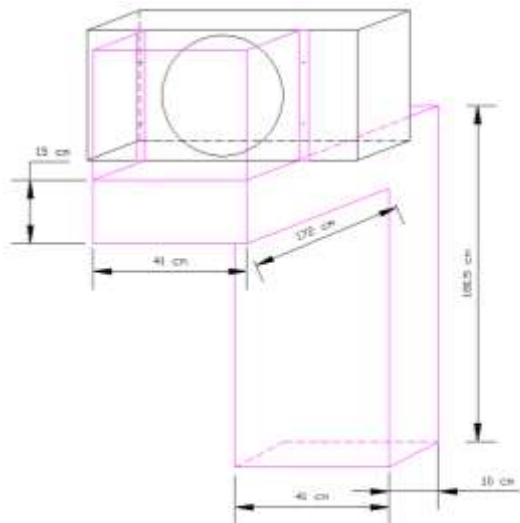
Gbr. Dimensi *evaporator*



Gbr. Dimensi modifikasi *evaporator*



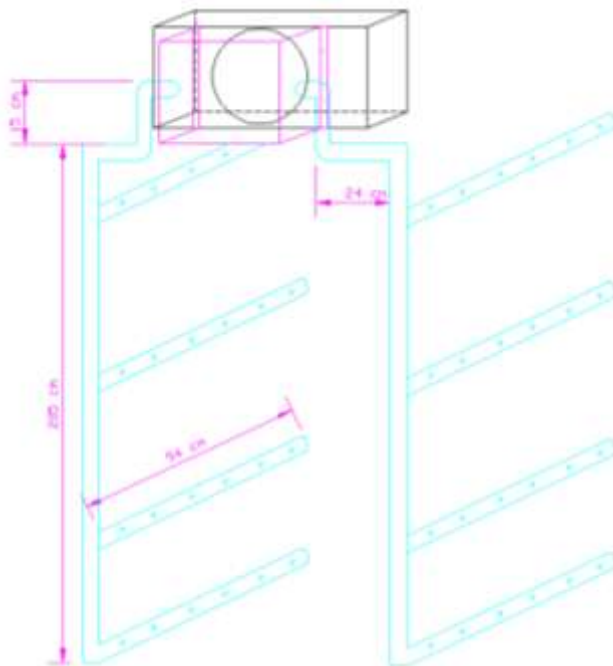
Gbr. Modifikasi *evaporator*



Gbr. Dimensi modifikasi *barrier bulkhead*



Gbr. Modifikasi *barrier bulkhead*



Gbr. Dimensi Modifikasi *Circular Ducting*



Gbr. Pemasangan *thermocouple* pada cargo



Gbr. Koneksi *Thermocouple* dan data logger Lab Jack T7- Pro



Gbr. Proses pengukuran *air velocity* dengan menggunakan *anemometer*

Biodata Penulis



Penulis dilahirkan di Surabaya, Jawa timur, pada tanggal 11 desember 1992. Penulis merupakan anak ke enam dari enam bersaudara. Terlahir dengan nama Moch Qusairi dari pasangan Moch Achyar dan Umi Kulsum. Riwayat pendidikan foramal yang telah ditempuh adalah SDI Jiwanala Surabaya, Mts. Unggulan Amanatul Ummah Surabaya, Madrasah Bertaraf Internasional (MBI) Amanatul Ummah

Pacet Mojokerto. Setelah lulus dari jenjang SMA penulis melanjutkan pendidikan S1 di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis mengambil bidang keahlian *Marine Machinery and System* (MMS). Selama perkuliahan, penulis aktif di salah satu unit kegiatan mahasiswa (UKM) dan pernah menjabat sebagai kepala departemen. Untuk kegiatan organisasi dijurusan, penulis pernah menjabat sebagi asisten praktikum (grader) di laboraturium MMS. Selain aktif di UKM dan kegiatan laboratorium jurusan, penulis juga menjalankan wirausaha selama kurang lebih 2 tahun terahir. Untuk pengalaman praktek lapangan, penulis pernah melakukan *on job training* (OJT) di galangan PT. Kumala Shipyard- Batam selama satu bulan, dan juga kerja praktek di Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) cabang Surabaya selama satu bulan.

Moch Qusyairi
Jurusan Teknik Sistem Perkapalan – FTK – ITS
Sairymuhammad@gmail.com